

地震災害時における大規模避難支援を目的とした避難経路の安全性の

評価方法に関する提案

李錫鳴・山本佳世子

Method of evaluating the safety of evacuation routes for large-scale evacuation support at earthquake disasters

Ximing LI and Kayoko YAMAMOTO

Abstract: When the earthquake disaster happens, blockage of the road is likely to occur frequently, particularly in dense urban and residential areas, due to the occurrence of damage, such as buildings are collapsed and burned. Tokyo Olympic and Paralympic will be held in 2020, it is expected that a large congestion of evacuees will happen if an earthquake disaster occurs during the holding period of such large-scale event, especially in dense urban areas around Olympic venues. Based on all above, the purpose of this study is to perform a large-scale evacuation support during earthquakes, and extract a possible route which is safe for escaping and will avoid the road which is likely to be crowded with evacuees as the optimum evacuation routes, and proposal a method for evaluating the safety of the escape routes by comparing to this route.

Keywords: 地理情報システム (geographic information system), クラスタ分析 (Cluster Analysis), アントコロニー最適化アルゴリズム (Ant Colony Optimization algorithm)、大規模避難 (large-scale evacuation)

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

日本列島は環太平洋地震帯にあるため、地震災害が頻発する。そのために、「減災」「防災」という考え方が注目され、阪神・淡路大震災、東日本大震災の経験により、その重要性が深く認識されることとなった。地震災害時には、特に密集した市街地や住宅地において、建物の倒壊や燃焼などの被害の発生により、道路の閉塞が多発する可能

性が高い。また、日本では 2020 年に東京オリンピック・パラリンピックが開催されるが、このような大規模イベントの開催期間中に地震災害が発生した場合には、特にオリンピック会場周囲の密集市街地では避難者の大混雑が予想される。以上を踏まえて、本研究は、地震災害時における大規模避難支援を行うために、避難者で混雑する可能性が高い道路を避けて安全に避難可能な経路を最適避難経路として抽出し、これと比較することにより各避難経路の安全性を評価する方法を提案することを目的とする。

1.2 関連研究における本研究の位置付け

本研究の関連分野には、(1)道路閉塞推定に関す

李 錫鳴 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

電気通信大学

Phone: 042-443-5664

E-mail: r1551027@edu.cc.uec.ac.jp

る研究、(2)避難経路に関する研究、(3)GIS を用いた多様な災害情報の空間解析に関する研究、(4)アントコロニー最適化 (Ant Colony Optimization: ACO) を用いた最適経路検索に関する研究がある。(1)では、今泉ら (2000) は地震災害時の道路閉塞を推定し、防災のための密集市街地整備方策の定量的な比較分析を行った。(2)では、Liu et al. (2006) は時空間地理情報システム (DiMSIS) による水害シミュレーション結果とダイクストラ法を用いて、水害時の時間経過に伴う状況変化に対応可能な避難経路導出アルゴリズムを開発した。Shimura et al. (2015) は多目的 GA と GIS を用いて、地震災害時における最適避難経路を探索する方法を提案した。(3)では、小荒井ら (2007) は土地条件図と過去の地震による建物被害情報とを GIS 上で重ね合わせて解析することで、GIS を用いた多様な災害情報の空間解析の有効性を示した。(2)(4)の両方に関する研究として、北原ら (2014) は ACO を用いてリアルタイムで最適避難経路を探索する方法を提案した。

本研究は、道路上の安全性と避難者密度を考慮した経路導出方法を採用するため、Liu et al. (2006) による最短経路を導出する研究とは観点が異なる。また、ACO を用いて避難経路を探索する先行研究には、北原ら (2014) のように、都市レベルの広域において主要道路のみを避難経路として対象とするものが多い。しかし、本研究では地震災害時に混雑した状況で各避難者に対して有効な情報を提供するべく、特に密集市街地において細街路も含む道路全てを避難経路として対象とし、評価する点において独自性を示す。

2 評価の枠組みと評価方法

2.1 評価の枠組み

本研究は、以下の(1)~(4)の枠組みに従って行う。

- (1) GIS を用いた道路ネットワークデータの作成
GIS を用いて、地震災害時に倒壊・火災の危

険性が高い木造建物と道路との空間的位置関係から、各道路毎に安全度を付加した道路ネットワークデータを作成する。

- (2) 階層クラスター分析を用いた道路の分類
階層クラスター分析により、(1)で作成した道路ネットワークデータを用いて、各道路を安全性の類似度に基づいて各クラスターに分類する。
- (3) ACO による各避難経路の混雑状況の予測
(1)で作成した道路ネットワークデータ上で、(2)の道路の分類結果を考慮して、ACO を適用することにより避難経路を導出する。さらに、各避難経路の避難者密度を推計し、各避難経路の混雑状況を予測する。
- (4) GIS を用いた避難経路の安全性評価
(3)で導出した避難経路と予測した混雑状況とを組み合わせ GIS を用いて可視化し、最適避難経路を抽出する。この最適避難経路と比較することで、各避難経路の安全性評価を行う。

2.2 評価方法

2.2.1 道路ネットワークデータの作成と各道路のクラスター分類

本研究では、OpenStreetMap よりダウンロードしたラインデータをシェープファイルに変換し、ESRI 社の ArcGISDesktop10.3 を用いて徒歩にて歩行が可能である道路のみ抽出する。さらに、GIS を用いて交差点や T 字路などの分岐路が含まれるラインデータは分岐点にて分割し、個別のリンクとする。分岐点には点データとしてノードを配置し、空間的包含関係よりノードとリンクの隣接関係を各ノードの属性として付加することで道路ネットワークを作成する。

建物データは東京都都市整備局より借用する建物用途現状データを利用する。本データには建物毎に属性として建物構造が備わっており、木造建物のみ抽出表示することが可能である。抽出し

た木造建物から、同建物が倒壊した際に発生すると考えられる瓦礫幅だけバッファを発生させ、瓦礫幅バッファが道路中心線と交差する階数をカウントし、その数を危険度とする。また、危険度は各道路リンク毎に属性として付与する。さらに、今泉ら（2000）を参考に、式(1)によりリンク総数に対する通過不能リンク数の割合を求める。

$$P = \int_{W-Z}^{W+Z} g(x; s, t) dx \quad (1)$$

- P：リンク総数に対する通過不能リンク数の割合
- W：道路幅員（m）
- Z：有効幅員（m）
- X：瓦礫幅（m）
- S：老朽度別の建物密度指標
- T：地震動の強さの指標

通過不能リンク数の割合を考慮した安全性の類似度に基づいて、各道路を階層クラスターに分類する。

2.2.2 ACOの原理を用いた評価方法

ACOとはアリの採食活動を模して、数多くある道（組み合わせ）の中から最適解を探し出すメタビューリスティクス解法である。アリのフェロモンによる情報伝達手段を応用し、過去の計算結果の中から評価値が高くなるパラメータを記憶しながら、次の計算ではフェロモン量を考慮して重み付けされた確率分布の中から集中的により良い解を選び出す。その結果より、高速で最適解に近づくことができる。ACOの特徴はビューリスティクス値と呼ばれる探索領域への静的な評価値と、フェロモンと呼ばれる探索領域への動的な評価値を組み合わせた探索にある。探索エージェントがこれらの値を基に解候補を生成し、生成した解候補の質に応じてフェロモンを変化させる。

本研究におけるACOアルゴリズムのフローは



図1 ACOアルゴリズムのフローチャート
注) 阿部ら（2005）を基に作成

以下のとおりであり、図1にこのフローを図示した。

- ・ツアー1回目
 - i) 全てのアリが同確率でランダムに避難経路を選ぶ
 - ii) 各アリが選んだ避難経路の評価関数を計算する
 - iii) iiで選んだ評価関数値を基にフェロモンを付ける
- ・ツアー2回目以降
 - iv) 全てのアリがフェロモンに従って避難経路を選ぶ
 - v) 各アリが選んだ避難経路の評価関数を計算する
 - vi) 各アリの評価関数値を基にフェロモンを更新する

3 評価対象地域の選定

2020年に東京オリンピック・パラリンピックが開催されると、会場周囲で観光客が増加することが予想される。そのため、万が一でも地震災害発生すると、大規模避難支援の必要性が高いと考えられるオリンピックメイン会場の新国立競技場周

囲地域と、その近隣の密集市街地の渋谷区千駄ヶ谷を、本研究の評価対象地域として選定した。同地域は、建物の敷地や道路幅が狭く、老朽木造建築物が高密度に立ち並んでいる密集市街地である。また、同地域には表参道、原宿、明治神宮等の観光客が常時集中している地域も隣接しているため、地震災害時には避難者で混雑する状況が想定されており、本評価方法が有用性を発揮できると考えられる。

4 結果と考察

避難を想定し、対象とするオリンピックメイン会場の新国立競技場周囲地域において、混雑度が最も高く避難場所までの直線距離が最も遠いうえで、最も混雑することが予想できる地点Ⅰから、避難場所周辺の地点Ⅱまでの経路をACOにて導出した。ACOにて導出した混雑経路および地点Ⅰ、Ⅱ間での最適経路を図2に示す。

図2から、導出した最適経路は混雑して危険な



図2 導出した混雑経路と最適経路

道路を通らず、安全度を考慮して建物密度が低い経路になったことを、視覚的に理解することができる。このように導出した避難経路は、避難者に対するわかりやすい避難指示で役に立つ可能性が高い。これらのことから、本提案では、混雑を回避して安全性を優先し、かつ迅速に避難可能な経路を導出することができたとと言える。

5 結論と今後の研究課題

本研究では震災時に大規模避難のため、集合場所の周辺の避難経路に対して、道路ネットワークデータを作成し、該当する道路ネットワーク上においてACOを用いることで道路の混雑度を予測し、迅速・安全に避難可能という視点から、避難経路の安全性を評価する方法を提案した。現段階では、評価対象地域全域で人口密度は全て統一していたが、今後は昼間と夜間の2種類の人口密度に分け、これらを反映したより詳細に道路の混雑度を予測し、道路混雑の危険度マップを作成する。

参考文献

- 1) 今泉恭一, 浅見泰司 (2000), 「震災時の道路閉塞推定に関する研究: 防災街づくりのための密集住宅市街地整備方策の定量的比較分析」, 日本建築学会計画系論文集, No. 529, pp.225-231
- 2) Yubao Liu, Da-Lin Zhang, Man Kong Yau (1997), "A Multiscale Numerical Study of Hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit Simulation and Verification", Monthly Weather Review, No.125, pp.3073-3093
- 3) Yuichiro Shimura, Kayoko Yamamoto (2014), "Method of Searching for Earthquake Disaster Evacuation Routes using Multi-Objective GA and GIS", Journal of Geographic Information System, Vol.6, No.5, pp.492-525
- 4) 小荒井衛, 佐藤浩, 宇根寛 (2007), 「地震による地盤災害と土地条件との関連に関するGIS解析」, 国土地理院時報, No.112, pp.115-123
- 5) 北原至博, 持尾隆士 (2012), 「アントコロニー最適化法によるリアルタイム最適避難経路の探索」, 第50回日本機械学会中国四国支部総会・講演会講演論文集, pp.70701-70702
- 6) 阿部淳一, 杉本博之 (2005), 「Ant Colony Optimizationに関する基礎的研究」, 第9回設計工学に関するシンポジウム講演論文集, pp.141-146