

ACO を用いた地震災害下における最適避難経路の導出と避難施設建設地の提案

大谷 紀子 研究室

1872021 小椋 健生

1. はじめに

東日本大震災における岩手県、宮城県、福島県の三県で年齢の確認できた死者 1 万 1180 人のうち、65.2%が 60 歳以上であったことが警察庁のまとめ[1]でわかった。死因は全体の 46%が「自宅」にいて「逃げなかった」、「戻ってしまった」、20%が「寝たきりや付き添い」、「迎えを待っていた」であった。

高齢者にとって、避難に際していくつかの課題がある。避難途中の急勾配や階段を上ることが困難であり、高台に昇ることを助ける配慮が必要となる。また、歩行速度が遅いため、津波到達までの短時間避難が困難であり、適切な箇所に避難施設を確保する必要がある。

地震災害下における避難では、土砂崩れや家屋の崩壊、津波などの二次災害に注意しなければならない。災害時の人的被害を減少するためには、二次災害を想定し、より適した避難経路、および避難施設の建設地を検討する必要がある。

本研究では、地震災害下における人的被害の減少を目的として、アントコロニー最適化を用いて最適な避難経路を導出し、導出された経路をもとに、避難施設の建設地を提案する。対象地域を宮城県多賀城市として、市が指定した指定避難場所もしくは指定緊急避難場所[2]までの避難経路と避難時間を導出する防災シミュレータを作成する。

2. 防災シミュレータにおける経路探索

本シミュレータでは、経路探索にアントコロニー最適化 (ACO; Ant Colony Optimization) [3]を用いて、避難施設まで歩行速度 2.24km/h[4]で避難す

る経路を探索する。ACO とは、アリが巣と餌場の間の最短経路を歩くようになる過程を模倣したアルゴリズムである。与えられた問題に変化が生じた場合でも同様の処理を継続して実行することができるため、状況変化の対応に優れた経路探索を行うことができる。

多賀城市の交差点と分岐点をノード、ノード間をつなぐ道路をエッジとする交通ネットワークを探索対象とする。ノードには、各ノードが位置する座標値として、経度と緯度の情報が記載されている。エッジには、宮城県土砂災害情報と多賀城市危険度マップに基づいて重みを付け、さらに河川に隣接している道路、東日本大震災で津波の浸水があった道路に重みを付ける。

本シミュレータにおける ACO では、ユーザが入力した住所に最も近いノードを出発地点とする。また、繰り返し回数を t と表すとき、サイクル t において現在のノード v_i にいるアリ A_k が次のノード v_j に進む確率 $p_{ij}^k(t)$ は式(1)で算出される。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\phi_{ij}(t)^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{v_l \in \Omega_{ik}} \phi_{il}(t)^\alpha \eta_{il}^\beta} & v_{ij} \in \Omega_{ik} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、ノード v_i 、 v_j に接続するエッジを e_{ij} とするとき、 $\phi_{ij}(t)$ はサイクル t における e_{ij} のフェロモン量、 η_{ij} は e_{ij} のヒューリスティック情報、 Ω_{ik} はアリ A_k の未訪問ノードのうち v_i と隣接しているノードの集合、 α と β はフェロモンとヒューリスティック情報を考慮する度合いを制御するためのパラメータである。ヒューリスティック情報 η_{ij} は、式(2)によって算出される。

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij} \cdot \gamma_{ij}} \quad (2)$$

ここで、 d_{ij} はノード v_i 、 v_j 間の距離、 γ_{ij} は v_i 、 v_j 間の危険度を表す。ヒューリスティック情報に経路の危険度を付加することで、距離が短い経路かつ危険度の低い経路ほど高い確率で選択されるようになる。

アリの数を 200 として経路選択とフェロモン更新を 10000 回繰り返す。導出された経路、避難時間を出力する。

3. 評価実験と考察

本シミュレータと通常の ACO で全ノードを出発地点とした避難経路を導出し、国土交通省の防災基本計画に基づいた避難施設までの避難時間、避難経路の基準を満たすかを確認する。大代 2 丁目 4-20 を出発地点として導出された避難経路を図 1 に示す。通常の ACO によって導出された避難経路は、本シミュレータよりも最短な経路であった。しかし、二次災害の危険性がある河川沿いの経路と横断歩道橋、大代橋を通過する。一方、本シミュレータによって導出された避難経路は、二次災害の危険性がある経路を避け、安全性が考慮された経路となっている。また、本シミュレータでは指定避難場所までの避難経路が導出されており、災害の危険性がなくなるまで滞在することができる。

本シミュレータによって導出された避難経路のうち、防災基本計画に基づいた避難施設までの避難時間、避難経路の基準を満たすことができな

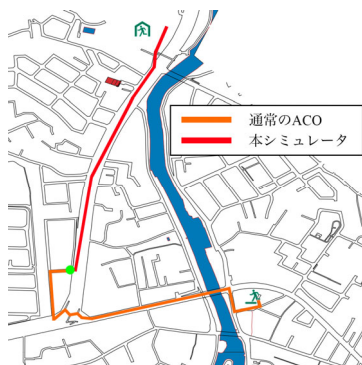


図 1：導出された経路

表 1：防災基本計画の基準を満たせなかった地区

対象区	番地
栄	3 丁目
宮内	1 丁目, 2 丁目
大代	6 丁目
笠神	1 丁目

った地区を表 1 に示す。栄 1 丁目と宮内 1 丁目、2 丁目から最も近い避難施設は、桜木全区の指定緊急避難場所である桜木東地区集会所であった。大代 6 丁目から最も近い避難施設は、大代全区の指定緊急避難場所である大代公民館であった。桜木東地区集会所と大代公民館の避難施設は、東日本大震災で津波の浸水地域であったため、避難施設までの避難経路が導出されなかったと考えられる。桜木全区と大代全区の指定緊急避難場所は見直す必要がある。大代 6 丁目から大代公民館以外の避難施設に避難する場合には、必ず橋を通過するため、周辺に新たな避難所を設ける必要がある。笠神 1 丁目では、周囲に土砂災害区域が多く存在するため、地滑り防止施設の整備が必要となる。

避難施設の収容人数や道路幅員など、避難に影響を及ぼす条件をより多く考慮することで、本シミュレータでより最適な避難経路を導出できると考える。

参考文献

- [1] 警察庁：“東日本大震災による死者の死因等について”，平成 24 年版警察白書統計資料，特-4，2021。
- [2] 多賀城市地震防災マップ：
<https://www.city.tagajo.miyagi.jp/bosai/kurashi/bosai/bosai/shite.html#menu01>
- [3] Dorigo, M., Maniezzo, V., and Coloni, A. : Ant System : Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transaction on System, Vol.26, No.1, pp.29-41, 1996.
- [4] 国土交通省 都市局 街路交通施設課：“津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について（第 3 版）”，p.33, 2013。