

テクニカルノート

粘菌アルゴリズムを用いた避難経路導出手法の提案

吉次 なぎ^{1,a)} 阿部 真也¹ 山本 佳世子²

受付日 2019年5月25日, 採録日 2019年8月9日

概要：一般に避難先や避難経路の候補は複数存在し、最適な避難先と避難経路を直感的に導くことは難しい。「安全で迅速な避難」のためには、複数の避難先への複数の避難経路を求め、それらの優先度を比較することが必要である。経路探索アルゴリズムは単一の始点と終点を結ぶ単一の経路を求めるため、複数の避難場所へ向かう複数の避難経路の優先度を定量的に求めることはできない。粘菌アルゴリズムでは始点と終点を複数設定すること、複数の避難経路の優先度を同時に計算することができる。そこで本稿では、粘菌アルゴリズムによる避難経路導出手法を提案する。提案手法により複数の避難先への複数の避難経路の優先度を定量的に比較できることが確かめられた。

キーワード：経路探索, 迂回路, 最短経路, 粘菌アルゴリズム

Derivation Method of Evacuation Routes Using Physarum Solver

NAGI YOSHITSUGU^{1,a)} SHINYA ABE¹ KAYOKO YAMAMOTO²

Received: May 25, 2019, Accepted: August 9, 2019

Abstract: Generally, there are multiple evacuation destinations and evacuation route candidates, and it is difficult to intuitively derive the optimal evacuation destination and evacuation route. For “safe and quick evacuation”, it is necessary to find multiple evacuation routes to multiple evacuation destinations and compare their priorities. Since the route search algorithm finds a single route connecting a single start point and an end point, it is not possible to quantitatively determine the priorities of multiple evacuation routes heading to multiple evacuation sites. Using Physarum Solver, it is possible to set multiple start points and end points and to calculate priorities of multiple evacuation routes simultaneously. In this paper, we propose an evacuation route derivation method using Physarum Solver. It was confirmed that the proposed method can quantitatively compare the priorities of multiple evacuation routes to multiple evacuation destinations.

Keywords: path finding, detour, shortest path, Physarum Solver

1. はじめに

東京都は「東京の防災プラン」[1]として自然災害に対して備えるべき防災の取り組みを示した。その中で地震に対して「安全で迅速な避難の実現」、風水害に対して「円滑な避難の実現」を目指すとしている。「安全で迅速な避難の実現」および「円滑な避難の実現」のためには複数の避難経路候補から定量的根拠に基づいて避難経路を選択するこ

とが不可欠である。避難経路をシミュレーションにより導出する際には、経路探索アルゴリズムを用いることが想定される。Liuらは、ダイクストラ法[4]を用いて、避難経路を最適化するアルゴリズムを開発した[2]。一般に経路探索アルゴリズムは単一の始点と終点を結ぶ最短経路を求めるため、複数の避難場所に向かう複数の避難経路の優先度を追加計算なしに定量的に比較することはできない。

そこで本稿では粘菌アルゴリズムを用いた避難経路導出手法を提案する。粘菌アルゴリズムでは終点を複数設定すること、複数の避難経路を同時に導出すること、それらの優先度を定量的に求めることが追加計算不要でできる。東京都の道路ネットワークデータを使用して避難経路を導出した結果を提示し、追加計算なしで複数の避難経路を同時

¹ 東京都立産業技術研究センター
TIRI, Koto, Tokyo 125-0064, Japan

² 電気通信大学
The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo
182-8585, Japan

^{a)} yoshitsugu.nagi@iri-tokyo.jp

に導出できること、それらの優先度比較を定量的に導出できることを示す。

2. 手法

2.1 粘菌アルゴリズム

粘菌アルゴリズム [3] は真正粘菌変形体（以下、粘菌と呼ぶ）の輸送管ネットワークに着想を得たアルゴリズムである。粘菌は細胞体内に形成した輸送管を通して原形質の往復流動を行い、輸送効率に優れた輸送管ネットワークを動的に形成することが知られている。粘菌アルゴリズムでは、粘菌の輸送管ネットワークを構成する各輸送管内を流れる原形質量の時系列変化を管の方程式（式 (1)、式 (2)、式 (3)）により表し、それらを数值的に解くことで、各輸送管における流量の時系列変化を得る。流量は管長が長いほど減少し、コンダクタンスが大きいほど増大する。コンダクタンスは流量が多いほど増大する一方で、一定の減衰率で減少する。したがって、コンダクタンスが大きい、つまり「通りやすい」管の流量が時間発展とともに増大し、「通りにくい」管の流量は減衰する。

道路網と粘菌の輸送管ネットワークの関係を表 1 のように解釈すると、粘菌アルゴリズムを避難経路の導出に応用することができる。このとき道路と粘菌アルゴリズムの各変数の関係は表 2 のように解釈できる。始点を原形質の流入箇所、終点を原形質の流出箇所とし、それらを結ぶ輸送管の流量を求めることで、避難経路としての優先度を比較する。避難経路においては、道路長が短く通行可能性の高い道路の優先度が上がることとなる。

$$\sum_i \frac{D_{ij}}{L_{ij}} (p_i - p_j) = \begin{cases} -1 & (j = 1) \\ 1 & (j = 2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} D_{ij} = f(|Q_{ij}|) - D_{ij} \quad (2)$$

$$Q_{ij} = \frac{D_{ij}}{L_{ij}} (p_i - p_j) \quad (3)$$

D ：コンダクタンス、 L ：道路長、 p ：各ノードの圧力、 Q ：流量

2.2 提案手法

粘菌アルゴリズムを用いて、経路を導出するために、下記の手順で作業を行う（図 1）。(1) 道路情報から道路ネットワークを抽出する、(2) 道路ネットワーク上の始点と終

表 1 道路網と粘菌の輸送管ネットワーク

Table 1 Road network and tubular network of *Physarum*.

道路網	粘菌の輸送管ネットワーク
道路	リンク
交差点	ノード
通行者	原形質

点を選び、道路の優先度を粘菌アルゴリズムを用いて計算する、(3) (2) で得た各道路の優先度をもとに始点と終点を結ぶ経路を導く。以下に (1)～(3) の詳細を示す。提案手法の妥当性を検証するために、最短経路問題を効率的に解くグラフ理論におけるアルゴリズムであり、経路探索手法として一般的に用いられるダイクストラ法 [4] と比較を行う。

(1) 道路ネットワークの抽出

本実験では、国土地理院発行「数値地図（国土基本情報）東京首都」の一部である JR 北千住駅周辺のデータを用いて、道路ネットワークの抽出を行う（図 2）。数値地図（国土基本情報）は基盤地図情報、数値地図シリーズ、数値標高データを統合し、さらに多様な属性情報を付加した地理空間情報である [5]。数値地図には道路中心線のデータが含まれており、この道路中心線の属性情報には、両端の座標（緯度および経度）と道路の太さ（5 段階）が含まれる。北千住駅周辺は河川に挟まれ災害危険度の高い地域である。QGIS2.18.15 を用いて数値地図から道路ネットワークを抽出する。まず、フィールド計算機能を用いて各道

表 2 道路と粘菌アルゴリズム

Table 2 Road network and Physarum Solver.

道路	粘菌アルゴリズム
通行可能性	コンダクタンス
道路長	管長
優先度	流量
始点と終点	原形質の流入入点



図 1 提案手法の概略

Fig. 1 Outline of the proposed method.

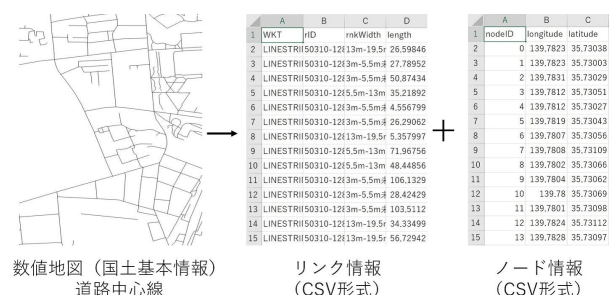


図 2 道路ネットワークの抽出

Fig. 2 Road network extraction.

路の長さを取得し、両端の座標、道路の太さとともに csv 形式に書き出す。次に、両端の座標をかぶりなくリスト化し、ノード番号として通し番号をつけ、ノードリストとする。最後に、先の道路情報の両端の座標をノードデータのノード番号に書き換え、リンクリストとする。

(2) 優先度の計算

先述の道路ネットワークデータから、粘菌アルゴリズムを用いて各道路の優先度を求める。ノードリストの中から任意の数の始点と終点を選択し、そのノードの流量はつねに一定とする。適当なコンダクタンスおよび道路の長さを初期値として与え、管の方程式 (式 (1), 式 (2), 式 (3)) を繰り返し計算により解く、各計算ステップでは圧力 p 、流量 Q 、コンダクタンス D が更新される。

(3) 避難経路の導出

先述の優先度を用いて、避難経路を導出する。避難経路上のすべての道路の優先度の平均を避難経路の優先度と定義する。優先度の値は漸近安定であり、計算途中では意味を持たないが、その大小関係は早期に収束し計算途中でなくても意味を持つ。したがって、絶対値が必要な場合を除いて収束するまで計算を行う必要はなく、優先度の順位が収束した時点まで繰り返し計算を行ってもよい。さらに、道路状況が変化した場合には避難経路の導出ステップのみを実施すればよい。ただし、これにより得られた避難経路は再計算した場合よりも優先度が低い可能性がある。

3. 結果

「数値地図 (国土基本情報)」から QGIS2.18.15 を用いて道路ネットワークデータを抽出し、提案手法を用いて以下 4 つの条件で避難経路を導出した。(1) 避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 1 つの場合に、優先度の最も高い避難経路を 1 つ導出した。(2) 避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 2 つの場合に、それぞれの避難終了地点への最も優先度が高い避難経路を各 1 つずつ導出した。(3) 避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 1 つの場合に、優先度が高い順に 2 つの避難経路を導出した。(4) (1) において、途中の道路が通行不可能であると仮定し、再計算なしで迂回路を導出した。ここで迂回路は、通行不可能な道路から避難終了地点までの経路を提案手法の経路の導出のみを実施して求めたものと定義する。複数経路を導出する場合には道路ネットワークの抽出、各道路の優先度の計算、経路の導出のすべてを実施し、複数の経路において一致する道路が最小限になるよう経路を導出するため、この点で複数経路の導出とは異なる。

図 3 に示すように、避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 1 つ、道路の長さのみを考慮して避難経路を 1 つ求める場合には、最も優先度が高い経路がダイクストラ法 [4] で求めた最短経路と一致した。図 4 に示すように、避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 2 つの場合に、2 つの避難終了

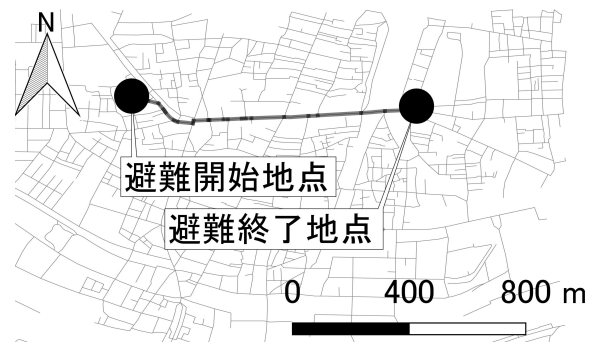


図 3 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出 (1)

Fig. 3 Derivation of evacuation routes using Physarum Solver (1).

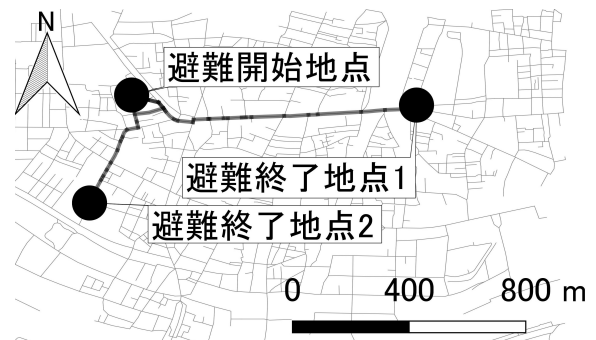


図 4 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出 (2)

Fig. 4 Derivation of evacuation routes using Physarum Solver (2).

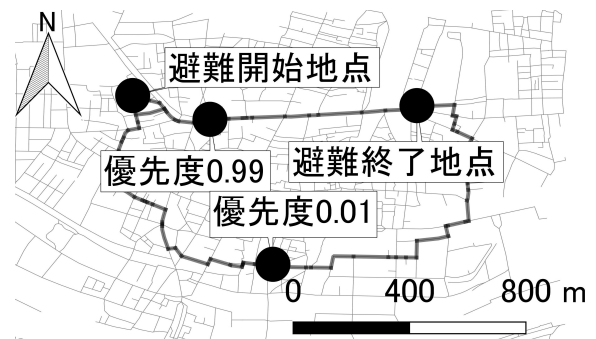


図 5 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出 (3)

Fig. 5 Derivation of evacuation routes using Physarum Solver (3).

地点へ向かう 2 つの避難経路を同時に導出することができた。避難経路を提案手法により求めることは、避難開始地点を粘性流体の流入点、2 つの避難終了地点を粘性流体の流出点に対応させることに相当する。流出量比を任意に設定することで、2 つの避難終了地点、つまり避難場所や避難所の収容人数や安全性を考慮した計算が可能となる。図 5 に示すように、避難開始地点が 1 つ、避難終了地点が 1 つに対して、優先度の高い順に 2 つの避難経路を同時に導出することができた。提案手法では各道路の優先度が計算されるため、追加計算を行うことなく避難経路を任意の数導出することができた。さらに各避難経路上のすべての道

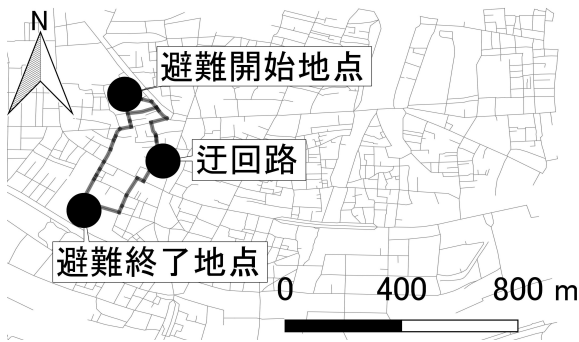


図 6 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出 (4)

Fig. 6 Derivation of evacuation routes using Physarum Solver (4).

路の優先度の平均を避難経路の優先度と定義することで、避難経路どうしの優先度の比較を行うことができた。図 6 に示すように、再計算なしで迂回路を求めることができた。

4. 考察

4.1 既存手法との差異

提案手法により、複数の避難終了地点への複数の避難経路を追加計算なしで定量的に比較することが可能になる。複数の避難終了地点への避難経路を同時に導出し定量的に比較することで、複数の避難場所への避難経路を避難場所と避難経路の両方を考慮して適切に選択する助けとなる。一般的な経路探索アルゴリズムでは終点を複数設定すること、複数の経路を導出すること、経路の定量的評価を行うことのいずれについても追加計算が必要となるが、提案手法では追加計算が不要であるため、避難経路の導出において利点が大きいと考えられる。優先度の計算においてすべての道路の優先度を計算済みであるため、道路状況が変化した場合でも再計算不要で迂回路を得られるという副次的な利点も存在する。

4.2 迂回路の導出

通常経路案内アプリケーションなどのサービスは計算をサーバ上で行うため、災害時のネットワーク遮断や混雑に大きな影響を受ける。しかしながら、提案手法を用いることで、優先度の計算が 1 度完了した後はネットワークや高性能な計算機がなくても迂回路を計算できる。ただし、再計算した場合と比較して迂回路の優先度が低い可能性は存在する。通行不可能な道路を取り除き、道路ネットワークの抽出、各道路の優先度の計算、経路の導出のステップを再計算した場合には当然結果が変わることが予想される。したがって、再計算なしに導出した迂回路は必ずしも最適とは限らない。しかしながら、再計算にかかる時間や災害時のネットワーク状況などを考慮すると、最適であることが保証されていなくても迂回路を短時間で導出できることにメリットがあると考えられる。

4.3 優先度の収束

各道路の優先度の値そのものは漸近安定であり、計算途中では意味を持たないが、その大小関係は早期に収束するため、優先度の順位は計算途中であっても意味を持つ。したがって避難経路どうしの比較において、絶対値が必要な場合を除いて各優先度の値が収束するまで計算を行う必要はなく、優先度の順位が収束した時点で繰返し計算を終了してもよい。優先度の正確さと計算時間のどちらを優先するかは段階的に決定することも可能であるため、災害発生前には正確さを優先し収束するまで計算を行い、災害発生後には計算時間を優先し、優先度の順位のみを使用して避難経路を求めるといった運用が考えられる。

5. おわりに

「安全で迅速な避難の実現」および「円滑な避難の実現」のためには複数の避難経路候補から定量的根拠に基づいて適切な避難経路を選択することが不可欠である。そこで本稿では、粘菌アルゴリズムによる避難経路導出手法を提案した。提案手法を用いて実際の道路ネットワークデータから避難経路を導出することにより、複数の避難先への複数の避難経路の優先度を追加計算不要で定量的に比較できることを確かめた。提案手法は再計算なしに迂回路を導出できることから、通信網が遮断される可能性がある災害時において実用上のメリットがあると考えられる。さらに提案手法では、繰返し計算の回数を変えることで計算時間と解の正確性のバランスをとることが可能であり、この点でも実用上のメリットがあると考えられる。

参考文献

- [1] 東京都総務局総合防災部防災管理課：「東京の防災プラン」(2014), 入手先 (<http://www.metro.tokyo.jp/INET/KEIKAKU/2014/12/DATA/70ocp401.pdf>) (参照 2018-08-13).
- [2] Yuling, L., Hatayama, M. and Okada, N.: Development of an Adaptive Evacuation Route Algorithm under Flood Disaster, *Annals of the Disaster Prevention Research Institute*, No.49B, pp.189–195, Kyoto University (2006).
- [3] Tero, A., Kobayashi, R. and Nakagaki, T.: A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold, *Journal of Theoretical Biology*, Vol.244, No.4, pp.553–564 (2006).
- [4] Dijkstra, E.W.: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, Vol.1, No.1, pp.269–271 (1959).
- [5] 国土交通省国土地理院：数値地図 (国土基本情報) (オンライン), 入手先 (<http://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40027.html>).



吉次 なぎ

2015 年早稲田大学先進理工学部電気・情報生命工学科卒業。2017 年同大学大学院修士課程修了。同年地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター入所。避難経路導出手法の研究に従事。



阿部 真也 (正会員)

2006 年岩手大学工学部情報システム工学科卒業。2008 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2017 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。

2009 年地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター研究員。2013 年同センター副主任研究員。2016 年同センター主任研究員。情報検索システム、観光情報システムの研究に従事。2008 年情報処理学会第 70 回全国大会学生奨励賞受賞。2010 年情報処理学会第 72 回全国大会大会奨励賞授賞。電子情報通信学会、情報システム学会、日本データベース学会、情報科学技術協会、日本観光学会、観光情報学会各会員。



山本 佳世子 (正会員)

1999 年東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。1998 年滋賀県琵琶湖研究所入所。2006 年電気通信大学大学院情報システム学研究科助教授。2019 年同大学院情報理工学研究科教授。空間情報科学、都市・地域計画学、災害科学等の研究に従事。日本学術会議連携会員、内閣府上席科学技術政策フェローを歴任。