

粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出と評価

吉次なぎ・阿部真也・山本佳世子

Derivation of evacuation route by physarum solver and evaluation

Nagi YOSHITSUGU, Shinya ABE and Kayoko YAMAMOTO

Abstract: In selecting evacuation routes, safe evacuation is most important. However, only single shortest route is obtained by general path finding algorithms like Dijkstra's algorithm. The shortest route is not always the safest route. In addition to this, it is necessary to obtain multiple detour routes in case the first route becomes impassable. So, general path finding algorithms are insufficient to determine evacuation routes. In this study, we made it possible to evaluate the safety of evacuation routes quantitatively and to obtain multiple evacuation routes at the same time by using physarum solver.

Keywords: 避難経路 (evacuation route), 経路探索 (path finding), 粘菌アルゴリズム (physarum solver)

1. はじめに

日本は自然災害が多く、近年では、東日本大震災や鬼怒川の水害など想定を超えた深刻な被害を経験することも多い。東京都は「東京の防災プラン」(東京都, 2014)として2020年を目標に自然災害に対して備えるべき防災の取組を示した。その中で「命を守る災害対応体制の構築」を挙げ、ソフト面での対策を強化する必要性を強調している。東日本大震災においても地震そのものが原因となった被害よりも火災・津波・洪水といった二次災害による被害の方が大きいことが報告されている。二次災害は一次災害発生時点で適切な対応が取れていれば被害を大幅に減らすことが可能であったと考えられ、「災害対応策の構築」は急務であることが窺える。とくに避難行動の選択において避難経路の選択が重要で

ある。一般に避難先や避難経路の候補は複数存在し、経路長や安全性を考慮して最適な避難経路を直感的に導くことは難しい。加えて、避難先や避難経路の収容人数には限りがあるため、最適な避難先と避難経路を導くだけでは不十分であり、避難者を複数の避難先と避難経路の分散することを想定する必要がある。

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。一般の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定量的に求めるためには不十分であるという質的な欠点が存在する。粘菌アルゴリズムでは始点と終点を複数設定すること、複数の経路を同時に計算することができる。これらの点から避難経路の導出において既存手法より優れていると予想される。

本稿では、粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出手法とその評価結果を示す。

吉次なぎ 〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-10

(地独)東京都立産業技術研究センター

Phone: 03-5530-2540

E-mail: yoshitsugu.nagi@iri-tokyo.jp

2. 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出手法

2.1 粘菌アルゴリズム

粘菌アルゴリズム(Tero et al. 2007)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。粘菌は多核の単細胞生物であり、大きなものでは直径1mほどに成長することがある。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うことで、酸素や栄養素を細胞体全体に行き渡らせる。粘菌は脳を持たないが、流量の多い輸送管が成長し流量の少ない輸送管が消滅するという単純な機構により、輸送効率に優れた輸送管ネットワークを環境に適応して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間発展を管の方程式(式(1)(2))により表し、それらを数値的に解くことで、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り、コンダクタンスが大きいほど増える。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。経路探索に用いる場合、始点を原形質の流入箇所、終点を原形質の流出箇所として繰り返し計算を行う。このため、始点と終点は複数設定することができる。計算終了後に、流量の多い輸送管を辿って行くことで、始点と終点を結ぶ経路を得ることができる。

$$Q_{ij} = \frac{D_{ij}}{L_{ij}}(p_i - p_j) \quad (1)$$

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

Q: 流量, D: コンダクタンス, L: 管長,

p: 圧力, f: 増加関数, γ : 減衰率

2.2 粘菌アルゴリズムの避難経路への応用

粘菌の輸送管ネットワークと道路網の関係を表2.1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。この時、粘菌アルゴリズムの各変数と道路の関係は表2.2のように解釈できる。ここでは、避難開始地点を原形質の流入箇所、避難終了地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推定する。避難経路においては、管長は道路長、流量は優先度、コンダクタンスは通行可能性を表すため、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。

粘菌アルゴリズムを避難経路に適用するにあたり粘菌アルゴリズムの各変数を設定する必要がある。まず、数値地図(国土基本情報)からQGIS(ver.2.18.15)を用いて、道路をリンク、交差点をノードとする道路ネットワークを抽出する。次に道路の長さを管長に変換し、避難開始地点と避難終了地点にあたるノードの流入量と流出量を設定する。最後に、繰り返し計算により各道路の優先度を推定し、流量の多い輸送管を辿ることで、優先度の高い避難経路を得られる。

表 2.1 粘菌の輸送管ネットワークと道路網

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

表 2.2 粘菌アルゴリズムと道路

粘菌アルゴリズム	道路
流量	優先度
コンダクタンス	通行可能性
管長	道路長
管径	通行可能人数
原形質の流出入	始点と終点

3. 評価結果

数値地図(国土基本情報)から道路ネットワークデータを抽出し、粘菌アルゴリズムを用いて避難経路を以下三つの条件で導出した結果をそれぞれ図3.1, 図3.2, 図3.3に示す。①避難開始地点と避難終了地点が各一つの場合に、優先度の最も高い避難経路を導出する。②避難開始地点が一つ、避難終了地点が二つの場合に、それぞれ優先度の最も高い避難経路を導出する。③避難開始地点と避難終了地点がそれぞれ一つずつの場合に、二つの避難経路を導出し、優先度の平均を算出する。さらに条件①において、粘菌アルゴリズムとダイクストラ法(Dijkstra, 1959)を用いて、最短経路を導出した際の計算時間を表3.1に示す。

図3.1に示すように、避難開始地点と避難終了地点が各一つで、道路の長さのみを考慮する場合には、最も優先度が高い経路がダイクストラ法で求めた最短経路と一致する。図3.2に示すように、避難開始地点が一つ、避難終了地点が二つの場合には、避難開始地点が原形質の流入箇所、二つの避難終了地点を原形質の流出箇所と定義する。流出量比を変えることで、二つの避難場所の收容人数や安全性を考慮できる。図3.3に示すように、各一つの避難開始地点と避難終了地点に対して、優先度の高い順に二つの避難経路を同時に導出することができる。さらに二つの避難経路上にある道路の優先度の平均を取ることによって、避難経路同士の優先度を定量的に比較できる。ダイクストラ法では一つの経路を導出した後、その経路を除外して再度計算を行うことで二つ目の経路を導出するが、粘菌アルゴリズムにおいては二つの経路を同時に導出できるため、求める経路の数が増えても計算時間の増加は少ない。

表3.1に示すように、粘菌アルゴリズムによる計算の方がダイクストラ法よりも計算時間が短いことが分かる。

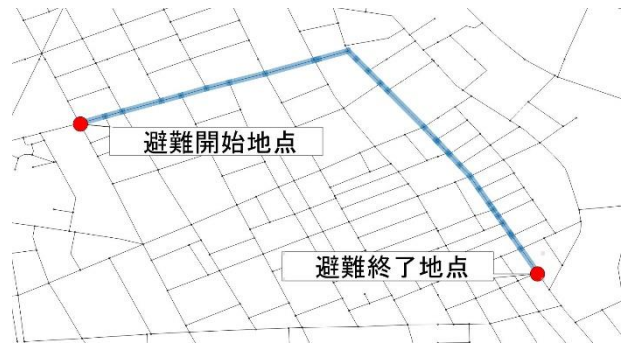


図3.1 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出①
(避難開始地点と避難終了地点が各一つずつの場合に、最も優先度の高い避難経路を導出した。)

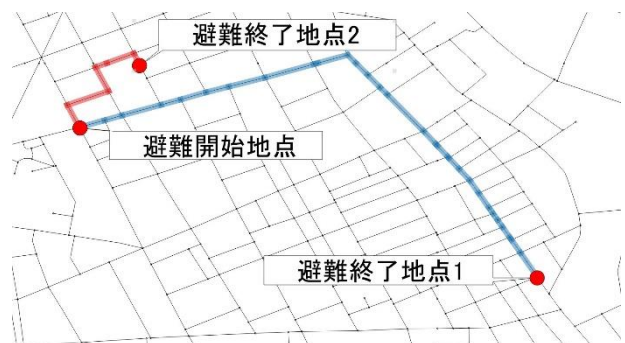


図3.2 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出②
(避難開始地点が一つ、避難終了地点が二つの場合に、それぞれ最も優先度の高い避難経路を導出した。)

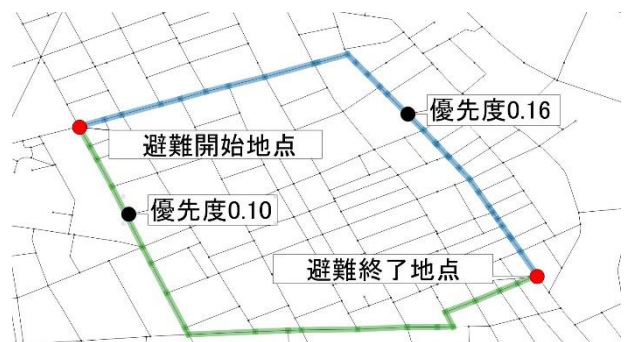


図3.3 粘菌アルゴリズムによる避難経路の導出③
(避難開始地点と避難終了地点が各一つずつの場合に、優先度が高い二つの避難経路を導出し比較した。)

表3.1 粘菌アルゴリズムとダイクストラ法の計算時間 [s]

道路数	1509	3670	6868
粘菌アルゴリズム	15.5	86.0	326.4
ダイクストラ法	34.9	246.6	1152.8

4. おわりに

粘菌アルゴリズムを避難経路の導出に応用することには以下の定性的な利点がある。一つ目は避難開始地点と避難終了地点を複数設定できる点、二つ目は複数の避難経路を同時に求められる点、三つ目は複数の避難経路の優先度を定量的に比較できる点である。これらの特徴により、避難者個人が複数の避難場所や避難経路の候補を同時に検討でき、さらにそれらの優先度について定量的に比較することができる。加えて、避難誘導者が避難者に対して分散避難を指示する際に、優先度の定量的な比較により人数や避難者属性に応じた効率的な分散を達成する助けとなると考えられる。

計算時間についても改善の余地がある。粘菌アルゴリズムは繰り返し計算を行っており、評価結果で示した計算時間は十分に経路が収束する回数繰り返し替えし計算を行った場合の結果である。計算対象の道路ネットワークにもよるが、収束以前に計算を中断しても優先度の高い経路については収束完了まで計算した場合とほとんど変わらない場合が多い。即応性が求められる場合には、求める経路の数を制限することで計算時間を大幅に短縮することも可能である。

粘菌アルゴリズムにおけるコンダクタンスは道路ネットワークにおける”通りやすさ”を反映している。そのため、避難経路の選定に重要である災害危険度や通行可能人数といったパラメータを考慮した計算と親和性が高いと予想される。本稿では道路の太さに応じて値を設定した事例を示したが、道路が太いほど避難者が通りやすいとは一概には言えず、また”通りやすさ”の指標としては道路の太さ以外にも影響することが予想されるため、より詳細な検討が必要である。今後は災害危険度や通行可能人数を考慮し、より安全性の高い避難経路を効率的に求める手法を開発したい。

参考文献

- 東京都総務局総合防災部防災管理課, 2014. 「東京の防災プラン」, <<http://www.metro.tokyo.jp/INET/KEIKAKU/2014/12/DATA/70ocp401.pdf>> 2018年8月13日アクセス
- 橋本雄一編, 2015. 「QGISの基本と防災活用」, 古今書院
- Tero, A., Kobayashi, R., & Nakagaki, T. 2007. A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. *Journal of theoretical biology*, 244(4), 553-564.
- Dijkstra, E. W. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1), 269-271..