

## 利便性を考慮した力学系に基づく複数経路探索\*

櫻場 悠之<sup>†</sup> 須貝 康雄<sup>‡</sup>  
 千葉大学<sup>§</sup>

## 1 はじめに

最短経路探索手法としてダイクストラ法や、A\* 法などが挙げられる。また、経路長以外の要素を加味した手法も提案されているが、これらは2地点間の経路1つのみの導出を目的としている。しかしながら、現実には様々な状況に応じた複数の経路候補を求める方が利便性は高いと言える。本報告では、最短経路手法の1つとして提案されている粘菌アルゴリズムを拡張した力学系を提案する。この力学系では、道路の混雑状況などに応じた複数の経路候補の探索が可能である。計算機実験により提案手法の有用性を示すとともに、利便性の観点から導出した経路の評価を行った。

## 2 粘菌アルゴリズム

## 2.1 粘菌の性質

粘菌は捕食行動の際に自身の体を流動的に動かしネットワークを作成する。迷路内において、2つの出口に餌を置くと、広がっていた管状のネットワークは、最終的に2つの出口を繋ぐ1本の経路になることが知られており、この特性を生かした最短経路探索手法の研究が進められている [1]

実際の粘菌のネットワークの挙動は、餌周辺に集まった粘菌の作り出す圧力差によって管状内部の原形質が流動する。この原形質の流量が多いところの管はより太く成長する一方、流量が少ない管は衰退し、最終的に消滅する。このネットワークを電気回路とみなすことにより数理モデル化することが文献 [1] より提案されている。ネットワークを考える際、経路の分岐点をノード、分岐点間をリンクと置き換えることにより各リンクを抵抗とみなせる。図1のようなネットワークを想定する。

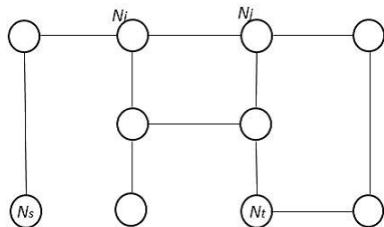


図1: 経路探索の対象ネットワーク

$N_s, N_t$  は迷路における出口で、餌を置く場所に対応する。他のノードを  $N_i (i = 1, 2, \dots)$  とする。また、

$N_i, N_j$  間のリンクを  $M_{ij}$  とする。各ノード  $N_i$  は管内の液体を押し出す圧力に相当するパラメータ  $p_i$  をもつ。各ノード間には圧力差  $P_{ij} = p_i - p_j$  が生じ、それによって生じる流量は  $Q_{ij}$  で表される。各ノード間の管の長さを  $L_{ij}$  とする。また、リンク  $M_{ij}$  の伝導率(リンク  $M_{ij}$  の流れやすさ、または重み)を  $D_{ij}$  とする。伝導率  $D_{ij}$  は流量に応じて時間変化する。

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

式(1)は、流量  $Q_{ij}$  は伝導率  $D_{ij}$  と圧力差に比例し、長さ  $L_{ij}$  に反比例することを意味する。各ノードに流れ込む流量と流れ出る流量は等しいことから、電気回路におけるキルヒホッフの法則が成り立つ。各ノードに対してキルヒホッフの法則を考慮し、流量  $Q$  を式(1)に置き換え、得られた式をまとめると以下のようなになる。

$$\sum_{i=1}^n \frac{D_{ij}}{L_{ij}}(p_i - p_j) = \begin{cases} -I & (j = s) \\ I & (j = t) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)の連立方程式を解くと  $p_i$  の値が得られる。管状のネットワークは時間経過とともに変化し、流量の多い管は成長し、対して流量の少ない管は減衰、消滅する。管の伝導率の時間的変化を表す方程式を流量の絶対値  $|Q_{ij}|$  の関数  $f(|Q_{ij}|)$  を用いて式(3)に示す。

$$\frac{d}{dt} D_{ij} = f(|Q_{ij}|) - \gamma D_{ij} \quad (3)$$

ここで、 $f(|Q_{ij}|)$  は  $f(0) = 0$  を満たす増加関数とし、 $\gamma$  は管のやせ細りの早さを決定する正の定数である。式(3)を時間発展させることにより、式(1)の  $Q_{ij}$  が変化する。最終的に最短経路であるリンクの流量以外の流量は0に収束する。流量がゼロ以外のリンク  $M_{ij}$  の  $i, j$  をつなぎ合わせることによって最短経路を導出する。関数  $f(|Q_{ij}|)$  に依存して収束値や収束までの計算回数が異なる。

## 3 粘菌アルゴリズムの拡張

本報告では、道路状況を反映する交通基本図を利用した拡張を行う。交通基本図とは、交通流量と車両密度の関係を表した図であり、2本の直線で近似できる。交通基本図の概略を図2に示す。図2における自由走行相とは、交通流量と車両密度との間に比例関係が存在する領域であり、渋滞相とは対して負の比例関係が存在する領域である。

\*Multiple route search based on dynamics system considering convenience

<sup>†</sup>Sakuraba Yuno

<sup>‡</sup>Sugai Yasuo

<sup>§</sup>Chiba University

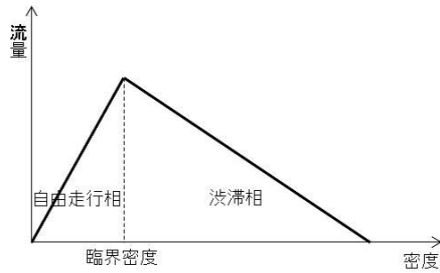


図 2: 交通基本図概略

自由走行相の傾斜を  $2D_{ij}$ , 渋滞相の傾斜を  $-D_{ij}$  と設定したとき,  $I = 1.0, 0 \leq D_{ij} \leq 1$  の条件のもとで  $D'_{ij}$  を式 (4) で表す。

$$D'_{ij} = \begin{cases} 2D_{ij} & (D_{ij} \leq \frac{1}{3}I) \\ I - D_{ij} & (D_{ij} > \frac{1}{3}I) \end{cases} \quad (4)$$

交通基本図における密度を伝導率に置き換え, 流量は式 (1) を拡張させ決定する。まず, 式 (1) の  $D_{ij}$  を  $D'_{ij}$  とおく。

$$Q_{ij} = \frac{D'_{ij}}{L_{ij}}(p_i - p_j) \quad (5)$$

臨界密度の値は  $\frac{1}{3}I$  となる。式 (5) に基づく力学系により経路を求めると, 1つの経路ではなく, 複数の経路を含む部分ネットワークに収束する。

一般に自由走行相の傾斜は渋滞相の傾斜よりも急であり, 本報告ではそれを満たすように各傾斜を設定した。

#### 4 実験

図3のネットワークは, 縦横50の座標上にランダムに配置した1000個のノードに対するドロネーグラフである。図3の左下の●印を  $N_s$ , 右上の●印を  $N_t$  として, 部分ネットワークを求める。初期設定は  $f(|Q_{ij}|) = |Q_{ij}|, \gamma = 1.0, I = 1.0, t = 0.01$  とし収束するまで計算する。

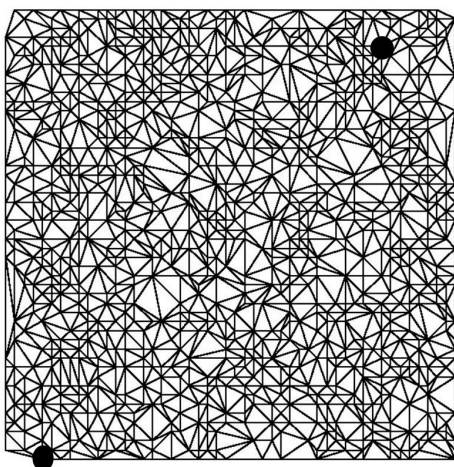


図 3: 探索対象ネットワーク

粘菌は, 餌が複数の場合でもそれらを効果的に繋ぐような管ネットワークを形成する。粘菌アルゴリズム

でも, この特性を実現する研究が行われている [2]。図4は, 粘菌アルゴリズムによって得られた  $N_s, N_t$  を含む5箇所を繋ぐネットワークである。

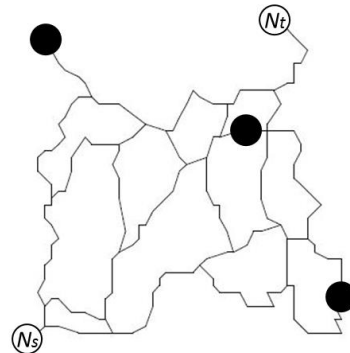


図 4: 得られた探索対象ネットワーク

図5は粘菌アルゴリズムを拡張した力学系によって得られた部分ネットワークである。

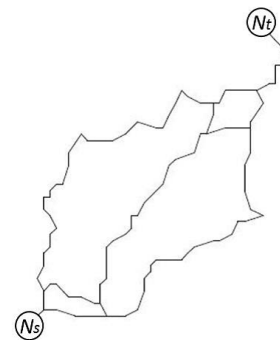


図 5: 部分ネットワーク

図5は,  $N_s$  から  $N_t$  の2地点間の最短経路を含め合計6種類の最短経路群からなる部分ネットワークである。経路の優先順位は, 各リンクを流れる流量の差として表せる。このように複数の選択肢があり, 利便性が高いと考えられる。

#### 5 まとめ

粘菌アルゴリズムを拡張することにより, 2地点間の複数経路の探索を可能にした。従来の方法では, 2地点間の経路は1つのみの導出を目的としていたが複数経路の探索により, 経路の断線などに対応できる経路群が求められるため, 移動者の利便性が高くなると考えられる。

#### 参考文献

- [1] A.Tero, R.Kobayashi, T.Nakagaki :Mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold, *J.Theor.Biol*, Vol.244, pp.553-564 (2007)
- [2] A.Tero, R.Kobayashi, T.Nakagaki, K.Yumiki, T. Saigusa : Flow-network adaptation in Physarum amoebae, *TheoryinBiosciences*, Vol.127, pp.89-94 (2008).