

粘菌ネットワークの流量適応ダイナミクス

中垣俊之¹, 手老篤史¹, 小林亮²

¹ 北海道大学電子科学研究所

² 広島大学数理分子生命理学専攻

概要

生物システムがどのように問題を解いているかを学ぶことは、新しい計算法の開発に役立つかもしれない。高次脳機能だけでなく真核単細胞生物のような単純な生物の行う情報処理もまた興味深い。なぜなら、それらの生物はその単純な情報処理系を利用することによって十億年近くも生き長らえてこられたのだから。巨大なアメーバ様生物である粘菌モジホコリの変形体は、迷路を解くとか複数の餌場所をつなぐ短いネットワークを見つけることができると知られている。この報告では、粘菌の問題解法について述べる。その仕組みは、管ネットワーク状の体形が適応的に変化するという細胞ダイナミクスに基づいている。そのモデルとして、ネットワークを構成する一本一本の管が管自身を流れる物質流量に依存して消滅したり発達したりする様子を定式化した。粘菌から学んだ計算法はなかなか興味深い。

Flow-adaptive dynamics in network of *Physarum*

Toshiyuki Nakagaki¹, Atsushi Tero¹, Ryo Kobayashi²

¹ Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University

² Department of Mathematical Life Science, Hiroshima University

Abstract

To learn how a biological system solves a problem may be helpful for us to design a new way of computation. Information processing in a simple organism like unicellular eucaryote is interesting since the organism has survived for almost billion years by using a simple system of information processing. A large amoeboid organism of *Physarum* plasmodium is known as it is able to solve a maze and to connect multiple food-locations through a smart network. In this report, we studied how it computed the solution. The mechanism was based on cell dynamics for adaptive body shape of tube-network. The model described how tube of network appears and disappears, depending on flux of protoplasmic streaming through the tube itself, and reproduced the experimental observation in the real organism. The algorithm learned from *Physarum* seems to be promising.

生物は外部環境に適応する能力をもつといわれています。太古の昔から進化してきたという事実が、その証ではないでしょうか。現存する全ての生物は、長い年月を生き抜いているわけですから、何らかの意味で自身の適応戦略が功を奏しているといえます。今回お話しするのは、真正粘菌という原始的な生物の適応性についてです。ただし、ここで注目する適応性とは、数時間という時間スケールのもの

です。粘菌の行動の時間スケールが数時間ですので、行動発現の様子を適応性という観点から眺めてみるということになります。

さて、粘菌といいましても、私たちが使いますのはモジホコリの変形体という巨大なアメーバ様生物です。変形体は、文字通り不定形の体を持っており、シート状に広がったり、チューブ状の網目構造をとったりします。この自在変形性が、環境に応じてかな

り巧みに発揮されます。たとえば、飢餓状態にした変形体を寒天ゲル上に這わしておいて、小さい餌をあちこちに点在させますと、どの餌場所にも集まってきた活発に養分を吸収しはじめるのですが、一方で餌場所を管でつなぎます。体のほとんどの部分は餌場所に駐在しながら、比較的短い経路に管を作って効率よく餌場をつなぐのです。この間、数時間です。このように体形変化は劇的です。効率よく養分を吸収すると同時に、効率よく餌場所をつないでますので、変形体にとっては都合の良い体形といえます。変形体では、変形と行動がほぼ同義ですので、賢い行動ともいえるでしょう。

変形体の管の中では、物質が活発に流れています。養分や化学信号、物理信号などが行ったり来たりしており、変形体全域を駆け巡っております。約二分の周期で比較的規則的に行き来しておりますので、往復流動と呼ばれております。変形体の管は環境に応じて出来たり壊れたりするのですが、どのようなしくみでそのようなことがおきるのでしょうか？それには、誠に生物らしい性質が寄与していることが実験で確かめられています。すなわち、管の太さはその管を流れる流量に適應して変化するという性質です。流れに対する適應性です。たくさん流れると管は太くなり流れを助けます。逆に流れが少ないと節約よろしく細くなります。このような適應性がありますので、何らかの意味で管ネットワーク全体の流れを調節しているのだらうと思われま

す。管のもつ流れ適應性のおかげで、変形体は様々な状況でさも賢いように振る舞うことが出来ます。迷路のなかに二つの餌場所をもうけますと、それらをつなぐ最短経路に管を残します。これは、自身の生理的欲求を高めるために迷路の最短経路を解いたのだと解釈することもできま

しょう。粘菌のこの空間の所々に光をあてたとしましょう。この光は変形体にとっては好ましくないものでなるべく避けるべきものです。そして、やはり二カ所の餌場所を設けますと、今度は最短経路ではなく、危険度を（経路に沿って積分した時）最小化するような経路に管を作ります。これは、光があたるところでは管が細くなるという効果が強く作用する

ためなのでしょう。変形体には中枢はありませんのでまず間違いなく並列分散的に処理を行っていると考えられま

しょう。そもそも、変形体は均質なサブシステム（原形質の小塊）から構成されておりますから、いわゆる自立分散システムの典型です。このような観点からしますと、変形体の問題解決法、計算方法は非常に興味深いものであると認識できます。私たちは、管ネットワークの流れ適應性に対する数理モデルを提案して

参考文献

- [1] A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki, *Physica* **A363**, 115-119 (2006).
- [2] T. Nakagaki, H. Yamada and M. Hara, *Biophys. Chem.* **107**, 1-5 (2004).
- [3] T. Nakagaki, R. Kobayashi, Y. Nishiura and T. Ueda, *Proc. R. Soc. Lond. B* **271**, 2305-2310 (2004).
- [4] A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki, *J. Theor. Biol.* **244**, 553-564 (2007).
- [5] T. Nakagaki, et al., *Phys. Rev. Lett.* **99**, 068104 (2007).
- [6] T. Nakagaki and R. Guy, *Soft Matter*, to appear (2007).
- [7] T. Nakagaki, T. Saigusa, A. Tero, R. Kobayash, *Proceedings of Int. Symp. On Topological Aspects of Critical Systems and Networks* (World Scientific Publishing Co.), 94-100 (2007).