

令和元年6月21日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17589

研究課題名(和文)生物内輸送ネットワークの自発的形成の数理

研究課題名(英文) Mathematical model for spontaneous formation of transportation network in living organisms

研究代表者

伊藤 賢太郎 (ITO, Kentaro)

法政大学・生命科学部・講師

研究者番号：20528351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：粘菌の輸送ネットワーク網はどのように形成されるのかを調べるため、粘菌の広がっていく様子を再現する数理モデルを構築した。同じ環境下であっても粘菌の量といった条件を変更すると、粘菌の広がり方が大きく変化するということが実験と数理モデルによるシミュレーションの両面から明らかになった。また、管が成長しない数理モデルであっても、粘菌の広がり方のバリエーションがある程度再現できるということが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物は血管網、神経網といった様々なネットワークを進化的に獲得しており、このネットワークは成長とともにより適応的に機能的なものへと変化していくことが知られている。真正粘菌変形体は単細胞であるが、原形質を輸送する管のネットワークをもっており、時間とともに体を広げながらこのネットワーク自体もより適応的なものへと変化していく。この比較的単純な生物のネットワーク形成を理解することができれば、他の生体内のネットワークがどのように体の成長とともに変化していくかをシンプルに説明するための糸口になることが期待される。

研究成果の概要(英文)：I constructed a mathematical model for spreading true slime mold to explain its network formation. From the result of experiments and simulations, I found that the slime mold spreads differently depending on its total weight, even in the same environment.

It was found that even if the tube does not grow, the variation of the spread of slime mold can be reproduced by our mathematical model.

研究分野：応用数学

キーワード：数理モデル ネットワーク 粘菌

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

多くの生物が体内に血管網，神経網といったネットワークをもっており，このネットワークは成長とともに変化していくということが知られている．真正粘菌変形体は，分化した器官を有さないアメーバ状の巨大な単細胞生物であり，単細胞生物でありながら，ネットワーク状に管のネットワークを張り巡らせ，その管の内部で原形質を流して養分の輸送などを行う．粘菌は広がりながら管ネットワークを成長させていき，ほんの数時間でその形を大きく変化させることがある．このような「領域の形状変化（成長）」と「ネットワークの成長」を同時に扱える包括的数理モデルができあがれば，粘菌のみならず，血管網，維管束といった様々な輸送ネットワークの生成について，新たな知見を与えることができると考えた．真正粘菌変形体というモデル生物については博士研究員の頃より研究を行ってきたため，生物実験，数理モデルの構築，シミュレーションといったすべてのことを自分一人で行うことができるので，この原生生物を対象に研究を進めることにした．

### 2. 研究の目的

粘菌がどのように広がり，どのように管ネットワークを生成，成長させていくのか，その仕組みを数理モデルの構成と実験の両面から理解することが本研究の目的である．また，分子レベルでどのような化学物質が関与しているのか，といった問題には踏み込まず，圧力や圧力勾配にしたがって流れる原形質といった力学的な側面に注目することにより，よりシンプルで普遍性のある説明を与えることを目指した，

### 3. 研究の方法

特定の環境下で粘菌がどのように広がるかを観察する実験と，数理モデルを用いたシミュレーションの両面から研究を行なった．数理モデルは粘菌の移動を実現するために圧力に注目して数理モデルを構築した，境界近くの部分の圧力が，その部分の柔らかさから決まる圧力閾値を超えたとき自らの境界を広げるように数理モデルを構築することで，様々な現象を再現することができた．

### 4. 研究成果

- (1) 二次元的に広がった粘菌とそのネットワーク網の様子を数理モデルにより再現することができた．粘菌のある先端が障害物に触れたとき，そこから離れた先端が動き出すという現象もこのモデルで再現することができた．
- (2) 粘菌の管は原形質を担っているので，粘菌が広がり続けるためには先端にどんどん原形質を送り続ける必要がある．一般に粘菌は質量が大きいほど，先端の速度が大きいこと

が知られているが、分かれ道に差し掛かったときに両方に進むか片側だけに進むかといった振る舞いの傾向も変化するということが明らかになった。この結果は数理モデルによっても再現可能である。現段階では管の成長の要素をとりいれない数理モデルであってもこの現象の再現はできることがわかっており、未だ移動したことの無い場所が残っている状態での実験結果を再現することができているが、それ以外の状況を再現するためには管の成長を数理モデルにとりいれることが不可欠であると考えている。

- (3) 粘菌は時間周期的に厚みが振動していることが知られている。力学的な刺激に応じて厚み振動の位相を遅らせるような数理モデルは粘菌のために作ったものであるが、このモデルを応用して実際に時間とともに膨潤収縮を繰り返すゲルを複数用い、それらを化学的な相互作用を無視できるように遮蔽しながら力学的に相互作用させた系の実験を再現する数理モデルを構築した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. Takuya Umedachi, Kentaro Ito, Ryo Kobayashi, Akio Ishiguro and Toshiyuki Nakagaki, "Response to various periods of mechanical stimuli in Physarum plasmodium", Journal of Physics D: Applied Physics Volume: 50 Issue: 25 pp. 254002. (2017), DOI:10.1088/1361-6463/aa6f4a, 査読有
2. 小林亮, 伊藤賢太郎: 単細胞が教えてくれること, 体育の科学, 66巻10月号, pp.708-713, (2016-10) (解説) 査読無
3. Kentaro Ito, Takato Ezaki, Shogo Suzuki, Ryo Kobayashi, Yusuke Hara and Satoshi Nakata, Synchronization of Two Self-Oscillating Gels Based on Chemo-Mechanical Coupling, The journal of physical chemistry B, Vol.120, pp.2977-2983. (2016), DOI:10.1021/acs.jpccb.6b00873, 査読有

〔学会発表〕(計 12 件)

1. Kentaro Ito, Ryo Kobayashi, Toshiyuki Nakagaki: Mass depending maze exploration strategy for true slime mold, 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology, (2018-7) .
2. 伊藤賢太郎: 粘菌の賢い戦略と数理モデル, 日本オペレーションズリサーチ学会システム信頼性研究部会新春特別講演会(2018-1)

3. Kentaro Ito, Ryo Kobayashi: Searching strategy of slime mold and its mathematical model, SICE2017 (2017-9)
4. 伊藤賢太郎「粘菌の探索について」第4回 JST 数学領域横断若手合宿，休暇村讃岐五色台（2017年2月1日）
5. 伊藤賢太郎「粘菌の探索行動の数理モデル」，第12回バイオロギングシンポジウム，京都（2016年12月）
6. 伊藤賢太郎「粘菌の探索行動と数理モデル」，動物行動学会，新潟（2016年11月2日）
7. K.entaro Ito, Mathematical model for spreading slime mold and its decision making, Patterns and Waves 2016, Sapporo (2016年8月2日)
8. Kentaro Ito, Mathematical model for spreading slime mold on 2D-mesh, ECMTB/SMB 2016, Nottingham (2016年7月14日)
9. 伊藤賢太郎「適応的に行動する粘菌の数理モデル」第3回 JST 数学領域横断若手合宿，ウェスティンホテル淡路，2016年2月
10. 伊藤賢太郎「粘菌の移動とネットワーク形成の数理モデル」第28回自律分散システム・シンポジウム，広島大学，2016年1月
11. 伊藤賢太郎 「状況判断する粘菌の数理モデル」，「群れ」における動態形成の数理科学，広島，2015年12月
12. K. Ito, “Mathematical model for spreading true slime mold”, 2015JSMB-CJK 合同大会，同志社大学，2015年8月．

〔その他〕

研究室 HP で粘菌の動画を公開中

( URL: <https://sites.google.com/site/kentaroitolab/home> )

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。