

粘菌変形体における自励振動

胡子松 榎屋 高実 川久保 達之 (東工大)

生命体は各階層レベルで絶えずエネルギーを散逸し、機能を発現している典型的な開放系であり、非平衡統計物理的な観点から、興味深い対象である。真性粘菌の変形体では、原形質が往復流動しているのが観測されるが、これは自励振動であり、そのメカニズムを明らかにすることが本研究の目的である。

我々は、粘菌変形体における自発的な振動の挙動を調べる一つの方法として、原形質が流動しているチャンネルを含む変形体を糸状に切り取り、湿室中で一端を固定して、他端に重りを吊り下げて、周期的に変化する糸の長さ(等張力条件)を観測し、その温度依存性を調べた。

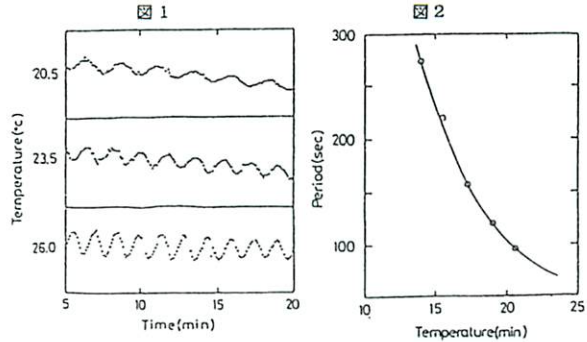
図1は、三つの異なる温度での糸状粘菌変形体の長さの時間変化の様子を示す。どの温度でも長さの変化が振動しているが、温度が高くなるほど、振幅が大きく、周期が短くなっている。

図2は、いくつかの温度での周期をプロットしたもので、温度変

化に対して周期が非常に敏感であることを示している。これは、粘菌変形体の自励振動がある種の化学反応と関わっていることを示唆していると思われる。

以上の結果は一つの張力での実験である。さらに張力を変えての自励振動の応答の詳細についても報告する予定である。

なお、実験に用いた粘菌は北海道大学薬学部の上田先生から頂いたものです。



粘菌の走性における協調性と位置情報(1)

振動子場における環境依存的な位置情報表現の可能性

金沢工大・情報 三宅美博 東大・薬 山口陽子・矢野雅文・清水 博

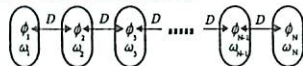
真性粘菌(Physarum)変形体は巨大なアメーバ状生物であり、脳・神経系を持たないにも関わらず複雑な外部環境下においても個体としての統一性を維持しつつ協調的に行動することが出来る。この協調性発現のメカニズムとして環境依存的に「位置情報」が生成される可能性を検討した。

我々はこれまで周期数分の細胞内リズム(内質・外質)とそれら相互作用で決まる空間的位相パターンおよび空間的Ca²⁺濃度パターンが走性における情報処理で重要な役割を担うことを実験的に示してきた。

本研究では、特にリズムの役割に注目し、結合振動子モデルにおける位置情報生成の可能性を理論的に検討し、位相勾配パターンが重要であることを初めて解析的に示した。実験的には、画像取込みによって同時多点で変形体の振動と行動の変化を分析した。従来より刺激と位相の関係は多く報告されてきたが、我々は行動を同時計測することによって協調性生成過程が少なくとも3ステージに分けられ、それぞれに特徴的な振動パターンが観察されることを示した。これらの結果に基づいて走性における協調性と位置情報の関係を考察する。

本発表では、まず理論的可能性に関して説明を行う。

【Ring-oscillator 結合振動子系モデル】 (1次元)



$$d\phi_i/dt = (\omega_i - \omega_0) + D \sin(\phi_{i+1} - \phi_i) + D \sin(\phi_{i-1} - \phi_i) \quad \text{for } i=2, \dots, N-1,$$

i: 位置指標, ϕ_i : 位相, ω_i : 角振動数, D: 拡散係数, 零流束境界条件 (i=1, N)

【解析】

局所的な秩序パラメータとして位相勾配 δ_i を定義する。

$$\delta_i = -(\phi_{i+1} - \phi_i) \quad \text{for } i=1, \dots, N-1.$$

環境刺激として一端(i=1)に振動数変調 ω_1 を入力し、それ以外はオリジナル振動数 ω_0 で一定とする(具体的には発表(2)の実験に対応)。

$$\omega_i = \omega_1 \quad \text{for } i=1, \quad \omega_i = \omega_0 \quad \text{for } i=2, \dots, N.$$

このとき相互引き込み後の定常状態における位相勾配の空間パターンは簡単な計算によって次のように誘導される。

$$\delta_i = (1/D)(\omega_1 - \omega_0)(1 - i/N) \quad \text{for } i=1, \dots, N-1.$$

この式の特徴は①極性: 刺激点からの距離 i の増加に従って位相勾配 δ_i の大きさが直線的に減少する。②サイズ不変性: 距離 i がシステムサイズ N で規格化されている。③環境依存性: 位相勾配の方向性(符号)が刺激 ω_1 とオリジナル ω_0 の振動数の大小関係に依存する。

【まとめ】

- 1) 極性・サイズ不変性の性質から「システムの部分と全体の関係」が、さらに環境依存性から「システムと環境の関係」がそれぞれ位相勾配パターンの上に表現されている。
- 2) 位相勾配パターンが環境依存的な位置情報を担う可能性がある。(実際の粘菌の振動パターンには競合性や2次元でのクラスタ化があるので、非線形性の大きい領域や2次元系への理論的拡張が今後必要であろう。)

粘菌の走性における協調性と位置情報(2)

局所的環境刺激に対する振動パターンの生成発展と行動

金沢工大・情報 三宅美博・村上博文・大戸康紀・田畑 淳 東大・薬 矢野雅文・清水 博

前発表(1)に対応した条件下、実験的に振動・行動パターンの測定を行う。

【方法】

粘菌 1次元状の粘菌変形体(長さ約4cm、幅8mm)

刺激 一定温度環境(20°C)下での一端(長さ1cm)の温度変化(±4°C)

測定 画像連続取込み(画像濃淡値変化が厚み振動と正の相関)

解析 1cm間隔1024秒平均での各区画内の原形質分布率(行動)、周期、位相

【結果】(以下WHを変形体全体, SPを刺激部位, SNを刺激部位近傍とする)

刺激後	温度上昇刺激(図1)		温度下降刺激(図2)	
の時間	0~1024sec	1024~2048sec	0~1024sec	1024~2048sec
行動	WHで停止	WHでSPへ接近	SNでSPから回避	同左
周期	WHで減少	WHで減少	SNでやや増加	同左
位相	WHでSP進み	WHでSP遅れ	SNでSP遅れ	-

【まとめ】

1) 環境刺激の種類(周期の増減)によって行動・振動のパターンが異なる。周期減少の影響の方が周期増加より空間的により広く伝わる傾向がある。

2) 温度上昇刺激への応答は行動に基づき2つのステージに分けられる。各々のステージで方向性の異なる位相勾配パターンが観察され、行動方向と一定の関係がある。情報処理メカニズム上異なる機能を担う別の過程に由来する可能性がある。(位置情報との関連で重要な位相勾配パターンの微細構造や変形体サイズへの依存性は各位相パターンにおいて現在解析中である。)

