

粘菌の走性における極性の統合メカニズム (1)

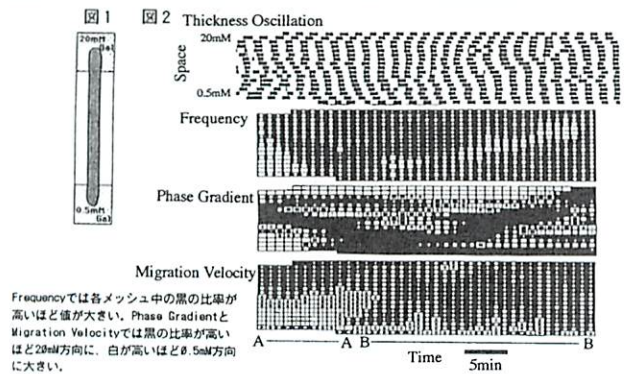
三宅美博, 田畑 淳, 村上博文 (金沢工大: 情報), 矢野雅文 (東北大: 電通研), 清水 博 (東大: 薬)

どうして粘菌(Physarum)は複雑な外部環境下でも個体全体として柔軟かつ協調的に行動できるのだろうか? 我々は既にその最も単純な例として、粘菌の2カ所に同時に誘引刺激を与えて個体全体として走性(taxis)の極性が統合される過程を観察した。今回は同過程の詳細な解析に基づきその統合メカニズムを明らかにする。

図1の様にシート状の粘菌変形体(5mmx80mm)の両端10mmの領域に各々20mMと0.5mMのガラクトースを接触させ走性を発現させる。ビデオカメラから取り込んだ粘菌の反射光イメージの時間変動成分から原形質厚さ振動(細胞内リズムに対応)を、振動以外の成分から原形質移動速度(行動に対応)を解析し両者の関係を調べた。

振動および行動の時間発展パターンを図2に示す。刺激後一過的に、区間Aの様に両端の刺激点方向を位相進みとする位相の極性が逆向きの2つのクラスタが生成した。特に同調振動数はクラスタ毎に異なり20mM側が0.5mM側よりも高かった。高振動数側のクラスタは徐々に他方を引き込み同調領域を拡大し単一クラスタとなり、20mM側の位相進みとして位相極性が揃った。行動の極性変化は位相に比べて時間的に遅れるが、その方向は各々のクラスタにおける位相進み方向にほぼ対応した。その後、区間Bの様に位相極性は20mM側位相進みとして大域的にほぼ安定化した。ただし振動数が粘菌全体で完全には一致せず20mM側が0.5mM側に比べや高くなるため、位相と振動数のゆらぎが0.5mM側から20mM側へ伝播した。このとき行動の極性は個体全体でほぼ一致し20mM側に向かった。ただし行動方向の先端領域は特殊であり局所的な位相遅れが常に観察された。一方、20mM側だけの単点刺激の場合は最初から単一のクラスタが生成し、それ以降については共通であった。

したがって、クラスタ間での振動数に関する競合と同調が走性における極性の統合メカニズムとして極めて重要と考えられる。ただし完全な同調には至らず、軽度の振動数の不均質さによる巨視的ゆらぎを伴った柔らかな極性の統合である。

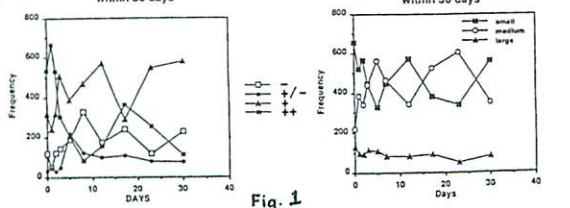


大腸菌集団内の複雑な振動

Elizabeth P. Ko, 四方 哲也, 卜部 格 (阪大: 工、応用生物学)

生物内では、多くの酵素反応が非線型にからみあって進行している。そして、生物集団中では、各生物が相互作用している。よって、生物集団を多くの非線形素子が相互作用する複雑系と考え得る。このような系の各要素間の関係や全体のダイナミクスを知ることは興味深い。現在までに、粘菌などを中心に空間構造の発生や引き込み現象などがよく解析されている。これらの多くは各要素の相対的位置が固定されている。つまり、相互作用のパターンに強い制限がある系である。我々は、相対的位置の固定がない系として、大腸菌の液体振盪培養系を用いて集団中の細胞のクラスタリングとその複雑なダイナミクスを観察した。

大腸菌はE. coli pumilus由来の変異型xylanase geneを導入したものを用いた。そして、30日間0.1%体積を毎日植え継ぎ、振盪培養を行った。また、植え継ぎの際、一部として、集団中の一匹一匹を固体培地で生やして、コロニーの色、大きさ、xylanaseの活性を測定して、その値によってgroupに分けた。その結果、集団中にいろいろなgroupが、存在していることが分かった。もちろん、これは培養中の突然変異が原因となり得るが、塩基配列決定等を行った結果、その可能性は否定された。このことから、同じ遺伝情報を持つにも関わらず、集団内で、異なる性質へのクラスタリングがおこっていることがわかった。また、集団内で1000菌体当たり各グループ(クラスタ)に属する頻度の時系列を調べると、Fig. 1に示すように、あるgroupは安定しており、あるグループは複雑に振動していた。以上をまとめると、細胞間相互作用の弱いと考えられる大腸菌の液体振盪培養系でも、クラスタリングが起こり、それらは、複雑なダイナミクスを持つことがわかった。



粘菌の走性における極性の統合メカニズム (2)

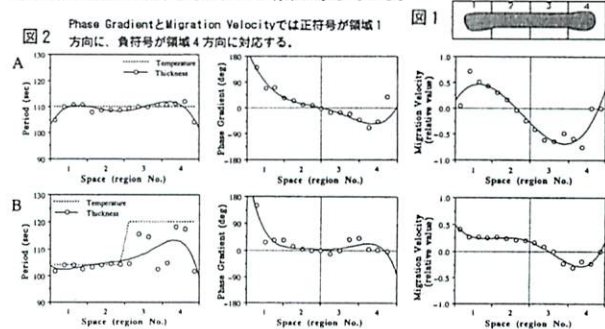
三宅美博, 村上博文, 田畑 淳 (金沢工大: 情報), 矢野雅文 (東北大: 電通研), 清水 博 (東大: 薬)

前発表で提案された極性の統合メカニズムを検証するために、粘菌の局所的な振動状態を調整し位相の極性が逆向きの2つのクラスタを人為的に生成させ、そのクラスタ間の相互作用における振動数の影響に関して解析する。

粘菌の張り振動が外部環境の温度振動に引き込まれることを我々はすでに報告した。そこで、図1の様にシート状の粘菌変形体(3mmx25mm)に4個のペルチエ素子を用いて温度振動を入力し両端が位相進みとなるよう制御することで、細胞内リズムにおいて位相の極性が逆向きの2つのクラスタを人為的に生成させる。このとき各領域には正弦波状の温度振動(20±6°C)が入力され、領域1-2および領域3-4の温度振動は各々同一振動数とし、領域1は2に対して領域4は3に対してそれぞれ90°位相進みに設定される。このとき前発表と同様の方法を用い原形質厚さ振動と原形質移動を計測し、クラスタ間での周期(振動数)の大小関係とそれらの相互作用への影響、さらに行動方向変化との関連性を調べた。

領域1-2および領域3-4の温度振動の周期を一致させた場合、図2Aの様に原形質厚さ振動の周期は全領域で温度振動に一致した。このとき位相勾配の符号変化としての行動の極性はそれぞれの位相進み方向に対応した。しかし領域1-2の温度振動の周期を領域3-4に対して相対的に短くすると、同図Bの様に厚さ振動の周期は領域1-2では温度振動と同調するが、領域3-4では同調しにくく、むしろ領域1-2の周期に近くなった。このとき領域1-2(短周期)側の位相クラスタが成長しクラスタ境界が領域3-4(長周期)側へ移動し、行動の極性もそれに対応して変化した。

したがって、相対的に短周期(高振動数)のクラスタが長周期(低振動数)のクラスタを引き込むという競合的相互作用、さらにそれに対応した行動状態変化が確認された。このことは、クラスタ間での振動数に関する競合と同調が粘菌の走性における極性の統合のための必要条件であることを明確に示している。



真性粘菌の知覚行動:

ホスファチジン酸とホスホリパーゼDの関与

宍戸直美 (新薬開発研究所), 上田哲男 (名大人間情報)

【目的】 粘菌はアメーバ運動により移動する巨大な原形質の塊である。このアメーバ細胞は、定まった感覚や運動の器官を持たないが、環境の受容とその情報の判断といった知覚機能を持つ。

すでにATPなどの細胞内化学成分が時間空間変動が細胞行動と対応していることを示してきた。今回、生体膜の構成成分であるリン脂質とその代謝系、中でもホスファチジン酸(PA)の挙動とホスホリパーゼD(PLD)の作用を検討した。

【方法】 真性粘菌(Physarum polycephalum)を用いた。リン脂質の抽出はBligh & Dyer法、リン定量はBartlett法により行った。PLDは、アセトン沈澱法により抽出し、陰イオン交換クロマトグラフィー、ゲル濾過クロマトグラフィーにより部分精製した。PLD活性はコリンオキシダーゼ法により測定した。

【結果】

- (1) 移動中の粘菌ではPA量は、先端部で低く後方で高かった。
(2) 忌避刺激により先端部のPA量は増加した。
(3) ホモジェネートにおいて、Ca2+添加によりPAは増加、ホスファチジルコリンとホスファチジルエタノールアミンは減少した。
(5) 50-60% アセトン沈澱分画にPLD活性がみられた。
(6) PLDは10^-6Mオーダーで[Ca2+]感受性を示し、最適pHはpH 5-6であった。

【結論】 以上のことからPLDを介したPAの時間空間的変動が、粘菌における知覚機能に関与していることが示唆される。

【謝辞】 本研究は北海道大学薬学部で行われた。