

B-63

粘菌の走化性における環境情報の統合メカニズム (1) —細胞内リズムにおけるコヒーレント状態とカオス的状態の循環的生成—

三宅美博、伊藤恭紹、田畑 淳 (金沢工大・情報工学)
矢野雅文 (東北大・電気通信研)、清水 博 (金沢工大・場の研究所)

1. はじめに

近年の工学的ネットワークシステムの巨大化と複雑化に伴い、多様かつ分散した情報をリアルタイムで自律協調的に統合する情報処理メカニズムが求められている。生命システムはこの様な情報統合を行っている非常によいモデルシステムである。そこで本研究では、Fig. 1に示すような真性粘菌 (*Physarum plasmodium*) の走化性 (chemotaxis) に着目し環境情報の統合メカニズムを解析する。

我々は昨年度、粘菌の細胞内リズム間での相互引き込みが環境情報を統合する上で重要な働きをしていることを発表した。特に、環境情報はリズムの周期変化として受容されること、リズムの間での相互引き込みを通してグローバルな位相パターンが生成すること、位相パターンに従って運動制御され協調的な行動が発現することを示した。

そこで、本研究の第1部では環境認識プロセスと運動制御プロセスの相互依存関係を調べ情報統合の全体的メカニズムを明かにし、第2部では運動制御における空間的位相関係と行動速度の関係、第3部では環境認識における周期変動と外部環境変化の関係を詳細に解析する。

2. 実験方法

実験方法としては、第1部では粘菌に入力した複数の環境情報が相互引き込みを通して統合されるプロセス、それによって協調的行動が発現するプロセスを長時間にわたって観察し、両者のダイナミックな関係を調べることになる。

粘菌の環境条件は、走化性に着目していることもあり、化学的条件を制御することで設定する。誘引刺激としてガラクトースを用い、Fig. 2の様に帯状の粘菌 (5×80mm) の両端において20mMと0.5mMの刺激を行なう。なお、全ての操作は20°Cの飽和水蒸気中で行う。

刺激前後での粘菌の細胞内リズムと行動状態は、Fig. 3の計測システムを用いて粘菌の反射光画像を連続取り込みすることによって測定する。画像データはマトリクスで分割され、それぞれの内部での反射光強度の時間変化として記録される。反射光強度は各地点での粘菌の原形質の厚さと近似的に比例するので、Fig. 4の様に時間変化を振動成分とオフセット成分に分離し、それぞれ原形質厚さ振動 (thickness oscillation) と原形質分布量 (cytoplasm distribution) とする。

$$\text{Thickness oscillation} = F_1(x, t) = F(x, t) - \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} F(x, t) dt$$

$$\text{Cytoplasm distribution} = F_2(x, t) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} F(x, t) dt$$

更に、原形質厚さ振動からは周期 (period) と位相勾配 (phase gradient) を、原形質分布量からは行動速度 (migration velocity) を計算する。

$$\text{Period} = P_e(x, t)$$

$$\text{Phase gradient} = P_g(x, t) = -\frac{\partial P_h(x, t)}{\partial x}$$

$$\text{Migration velocity} = Mv(x, t) = \int_0^x \frac{\partial F_2(x, t)}{\partial t} dx$$

ただし20mM側と0.5mM側の2領域に分割し、それぞれの領域内における平均値として求める。

3. 結果

- Fig. 4に結果の一例を示す。いずれも20mM側方向を正符号とする。
- (1) 行動速度の経時変化パターンから、個体全体として活発に移動する相と徐々に行動速度が減衰する相が数時間周期で交互に出現することがわかる。それぞれをA相とB相と呼ぶことにする。
- (2) それぞれの相に対応して位相勾配および周期の経時変化パターンにも特徴的な変化が観察される。A相はコヒーレントな状態であり、B相はカオス的な状態である。
- (3) A相では最初に行動速度と位相勾配の方向性が20mM側と0.5mM側の2領域で逆向きになるが、徐々に個体全体として20mM側に統合されそれらの大きさも徐々に増加する。このとき周期は2領域間でよく同調しており次第に周期が短くなっていく。
- (4) B相では行動速度と位相勾配が大きく揺らぎつつ徐々に減少し不規則に変化するようになり、A相で観察されるそれらのグローバルなパターンが崩壊していく。このとき周期の同調状態が低下し周期の長さも次第に長くなる。

4. 考察

これらの結果は、A相において環境情報を統合し行動方向を選択したコヒーレントな状態が、徐々にB相のようなカオス的な状態へと崩壊し、その後再びA相を繰り返すという、循環的プロセスの存在を明確に示している。したがって環境情報を認識し行動した結果が、再び環境認識系によって統合評価され行動制御に反映されるという、再帰的な認識と運動のプロセス間相互作用が示唆される。

したがって、昨年度報告した情報統合メカニズムはそれだけで完結するのではなく、システムと環境の間での情報の循環 (相互引き込み) によって生成する更に上位の拘束条件からの影響を受けている可能性がある。このように発展的に開かれた階層的な情報システムにおける引き込みの相互作用が生命システムにおける情報統合の本質的特徴であろう。

参考文献

第3部にまとめて記載される。

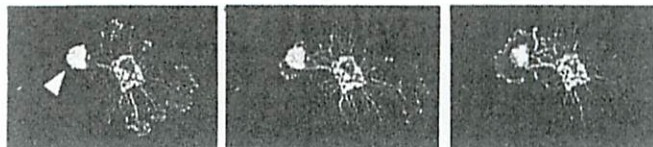


Fig. 1 Taxis of *Physarum plasmodium*.

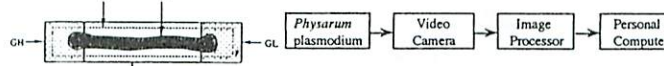


Fig. 3 Block diagram of experimental setup.

Fig. 2 Stimulation condition.

PP: *Physarum plasmodium*
GH: 20mM galactose
GL: 0.5mM galactose

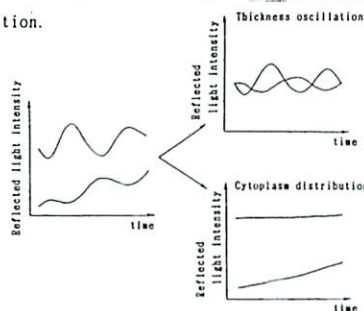


Fig. 4 Separation of reflected light intensity into oscillation and offset components.

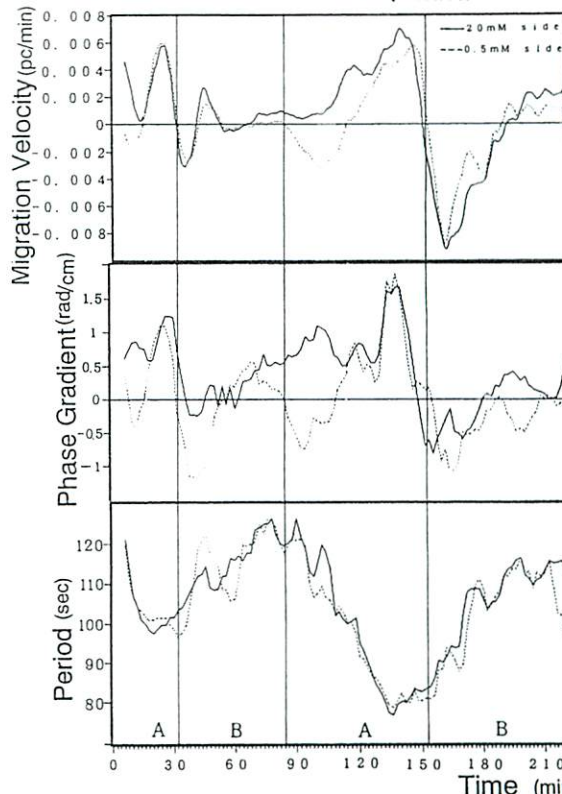


Fig. 5 Time evolution of Migration Velocity, Phase Gradient and Period.