

前回のH-THEOREMSに続いて、ここでは、その続編の δ -H THEOREMSについて、述べて併せて少々TOPICSについて論ずる。

① δ -H THEOREMS.

$$\frac{d}{dt}(\delta-H) = \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k - kT \frac{d}{dt}(\sum_j \delta n_j)$$

$$\frac{d}{dt}(\delta-H) = \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k - kT \frac{d}{dt}(\sum_j \delta n_j)$$

$$\frac{d}{dt}(\delta-H) = \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k - kT \frac{d}{dt}(\sum_j \delta n_j)$$

定理。(PRIGOGINE) $\frac{d}{dt}(\delta-H) = \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k - kT \frac{d}{dt}(\sum_j \delta n_j)$

② FLUCTUATION FORMULAS.

$$P(x) \propto \exp(-\frac{1}{2} \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k)$$

これを、非平衡定常状態にまで、通用する形にする事が趣旨である。

$$P(x) = A \exp(-\frac{1}{2} \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k)$$

これから、上の中は、Hである事が分かる。

$$P(x) = A \exp(-\frac{1}{2} \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k)$$

③ 今度は、次のような事を考える。

$$P(x) = A \exp(-\frac{1}{2} \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k)$$

Hとも読み替えられる。

$$P(x) = A \exp(-\frac{1}{2} \sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k)$$

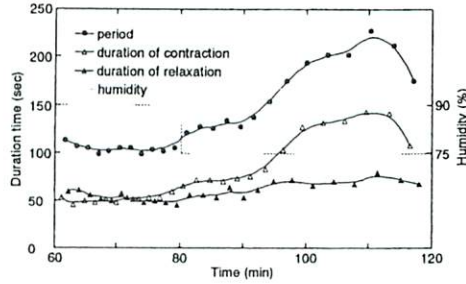
以下、同様。これは、このH-CATEGORYの枠内で成り立っている。

④ H-物理。H-THEOREMSの範疇をH-CATEGORYとすると、H-物理のようなものが考えられる。H-PHASE TRANSITION, H-CHAOS, H-STRUCTURES, H-ORDERED STATES, ...

⑤ H-関数は、非平衡系の我々の物理学のENTROPYに相当している。熱力学の第二法則の適切な解釈を得るが、今度は、再び、非可逆性の問題が浮上して来る。即ち、ある場合、 $\sum_{j,k} \delta J_{jk} \delta X_k = \text{ENTROPY DISSIPATION}$ と考えられる。この場合、可逆な場合がある。これらの処理は、今後の課題である。

真性粘菌変形体系は変形体系が網状に結合し、二次元的に広がった形状をしている。この変形体系は神経系を持たないが、様々な局所刺激に対し全体として協調のとれた行動をする非常に興味深い生物である。現在、この刺激-応答反応を、仮想的な振動子ユニットが2次元的に結合した結合振動子系のダイナミクスとして説明するという様々な試みがなされている。我々はこの振動子ユニットとしての変形体系それ自身のダイナミクスを解明することを目的としている。

変形体系から変形体系を切り出し荷重をかけて吊すと、鉛直方向に収縮・弛緩する自動振動が観測される。今回の実験では、外部パラメータとして温度や湿度に対する自動振動の応答を調べた。その結果、温度・湿度の変化に対し、振動周期が強い依存性を持つことが分かった。更に、この波形を収縮過程と伸長過程とに分けて調べると、各々の過程の温度・湿度変化依存性が著しく違うことが明らかになり、両過程が異なる機構で駆動されているという知見を得た。



左図 湿度変化に対する自動振動周期の応答

K. Takahashi, Z. Hu and Y. Tsuchiya: Resposes of self-excited oscillation of *Physarum polycephalum* strand to changes of temperature and humidity.

粘菌の走化性におけるコヒーレンス生成-崩壊サイクルと情報統合プロセス

三宅美博¹⁾, ○伊藤恭祐¹⁾, 矢野雅文²⁾, 清水 博³⁾
 1)金沢工大(情報工学) 2)東北大(電気通信研) 3)金沢工大(場の研究所)

粘菌(*Physarum*)の走化性における環境情報の統合メカニズムは、これまで自己組織現象との関連において解析されてきた。具体的には、細胞内リズム集団における相互引き込みを介するグローバルな位相コヒーレンス生成の重要性が指摘されてきた。しかし我々は昨年、自己崩壊と呼び得る現象の存在を初めて報告した。そこでは、コヒーレント状態とカオティック状態の循環的な遷移が観察された。そこで本研究では、リズム集団のコヒーレンスを評価する新たな測度を導入し、走化性の発現プロセスを自己組織と自己崩壊のプロセスに分離し、それぞれの役割を明らかにする。更に、両者の関係から生成されるより高次の機能に関して考察する。

実験としては、図1に示すように1次元状の粘菌変形体系の両端に異なる濃度の化学刺激を与え、走化性を発現させ環境情報が統合されるプロセスを観察する。化学刺激としては20mMと0.5mMのガラクトース(誘引刺激)を用い、応答としては、画像処理的手法により粘菌各部分の原形質厚さ振動と原形質分布率を計測した。前者より図中の定義に従いリズムのコヒーレンスを計算し、後者より粘菌の空間移動を評価した。

結果の一例を図2に示す。コヒーレンスが增加するステージAと減少するステージBが、数十分周期で交互に出現している。ステージAでは20mM側の原形質分布率の増加と0.5mM側の減少、つまり個体全体としての20mM側への移動が観察されるが、ステージBではそのような顕著な移動は見られない。更に両ステージを交互に繰り返すことで段階的に20mM側へ接近している。単純に考えれば連続的に20mM側へ接近する方が効率が良さそうだが、実際にはそのような論理は用いられていない。更に、このような現象は化学刺激の有無に関わらず観察することができた。このことは、このようなメカニズムが情報統合システムに内在することを示唆している。

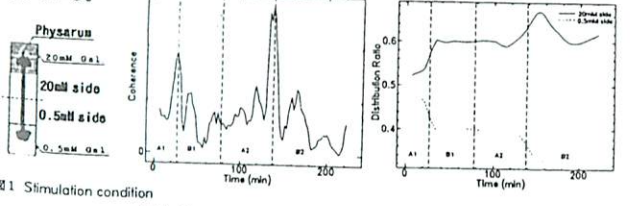


図1 Stimulation condition 図2 (a) Time evolution of Coherence 図2 (b) Time evolution of Distribution Ratio

粘菌の走化性における情報統合プロセスとその論理構造

三宅美博¹⁾, ○島田真之¹⁾, 矢野雅文²⁾, 清水 博³⁾
 1)金沢工大(情報工学) 2)東北大(電気通信研) 3)金沢工大(場の研究所)

我々は既に粘菌(*Physarum*)の走化性においてリズムのコヒーレンス生成-崩壊サイクルと情報統合機能との関連を報告した。そこで本研究ではこのような関係から生成されるより高次の情報統合機能に関して研究を行なう。具体的には、これまで観察された情報統合プロセスは2つの化学刺激の場合に限定されていたが、本研究では3ヶ所同時に化学刺激を与え自由度を増やした状況下での情報統合プロセスを調べる。

実験としては、図1に示すように、中心から3方向に枝を伸ばした形態の粘菌変形体系の3つの端点にそれぞれ異なる濃度の化学刺激を与え、走化性を発現させ環境情報が統合されるプロセスを観察する。化学刺激としては20mM, 5mM, 0.5mMのガラクトース(誘引刺激)を用い、応答としては画像処理的手法により各3領域の原形質厚さ振動と原形質分布率を計測した。前者よりリズムのコヒーレンスを計算し、後者より粘菌の空間移動を評価した。

結果の一例を図2に示す。グラフから明らかかなように、①誘引刺激の濃度が低い枝領域から一つづつ段階的に原形質分布率が減少する。②コヒーレンスの生成-崩壊のサイクルと枝領域の段階的な減少が同期している(サイクルが1回まわることにつづつ枝領域が減少する)。

以上の結果より、コヒーレンスの自己組織と自己崩壊のサイクルと密接な関連性を持って環境情報を統合する論理が存在することが示された。単純に考えれば、一番条件の良い枝領域を選んで他の枝をすぐ引込めてしまえばよいと考えられるが、実際には行動方向の可能性を順次一つづつ減少させるという高次の論理を用いている。現在、このような論理構造が出現するメカニズムを実験的に解析している。

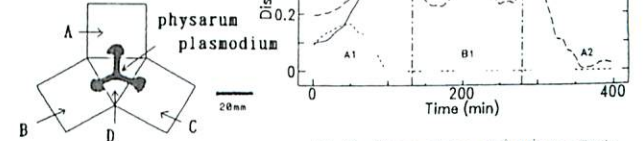


図1 Stimulation condition 図2 Time evolution of Distribution Ratio