

生体の自己組織化過程における動きの情報量の解析

Analysis of the Information of Movement in Self-organizing Process of Biological System

○安藤 浩司

○Hiroshi Ando

八戸工業大学

Hachinohe Institute of Technology

キーワード：自己組織化過程 (Self-organizing Process), 動きの情報量 (the Information of Movement),
ヒドラ (Hydra)

連絡先： 〒031 八戸市大字妙字大開88-1 八戸工業大学情報システム工学研究所 安藤浩司
Tel.: (0178)25-8062, Fax.: (0178)25-1691, E-mail: hydra@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

再生力の強い生物として有名な腔腸動物ヒド
ラは、頭部や足部の再生を行うだけでなく、1
個1個の細胞に解離してから再集合させた解離
細胞集合体からも再生することができる。この
解離細胞集合体からの自己組織化過程（再生過
程）においては、様々な変化がみられる。形態
形成過程では細胞選別、空洞形成、構造形成の
3つの動的過程がみられ、更に神経網形成過程
では神経細胞の幹細胞から神経細胞の分化、神
経細胞の移動、神経網の形成等の動的過程がみ
られる。このどちらの過程においても細胞の移
動や集合体全体としての動きの変化等の目で見
える動的な過程が重要な役割を果たしている。

そこで本研究ではこの動的な過程を定量的に
捉えることを目的とし、解離細胞集合体からの
自己組織化過程の動きの情報量の解析を行った。

2. 使用した解離細胞集合体データ

材料に用いたヒドラは、日本産チクビヒドラ
(*Hydra magnipapillata*) の標準野生系統である
105である。105の写真を図1に示す。

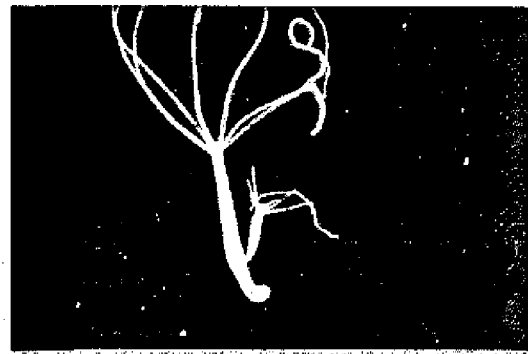


図1 出芽中のチクビヒドラ(105)

主として頭部（触手及び口丘）・腔腸部・足
部からなる比較的簡単な構造を持つ。体の脇に
見えるのは、出芽と呼ばれる自己増殖過程により
形成された芽体（子供）である。

このヒドラを高浸透圧溶液中で機械的に解離させ、ナイロンメッシュを通して細胞懸濁液を作り、遠心機により細胞の無秩序な濃縮集合体を作り、再生（自己組織化）させる。

次にこの集合体からの自己組織化過程における動き、形態の時間的変化を、実体顕微鏡に装着した CCD ビデオカメラと可変間欠撮影ができるタイムラプスビデオを用いて記録する。ヒドラは動きの変化が遅いため、また長時間にわたる変化を記録するため、タイムラプスビデオを用いている。

3. 画像解析システム

前節の解離細胞集合体の自己組織化過程の時間変化の映像を、A/Dコンバータにより一定の時間間隔で画像解析装置にデジタル動画像として入力する。使用した画像解析装置は

Power Macintosh 8100/100AV で、画像の取り込みは内蔵のビデオ回路を用い、パブリックドメイン画像処理ソフトウェア NIH Image により直接入力・画像処理・画像解析の総合処理を行った。

4. 解離細胞集合体の動きの情報量解析

細胞選別が終わり空洞化して、形態が再生し始めている過程にある解離細胞集合体の動きの変化を取り込んだ画像を図2に示す。これは90秒おきの変化を示しており、再生するために集合体が形を変え、動いているのが分かる。

この集合体の動きの情報量を解析するために、各画像における変化量の抽出を行った。全体的な動きの変化を見るために、図3の様に各コマに番号を付けて細胞集合体のみを抽出した。

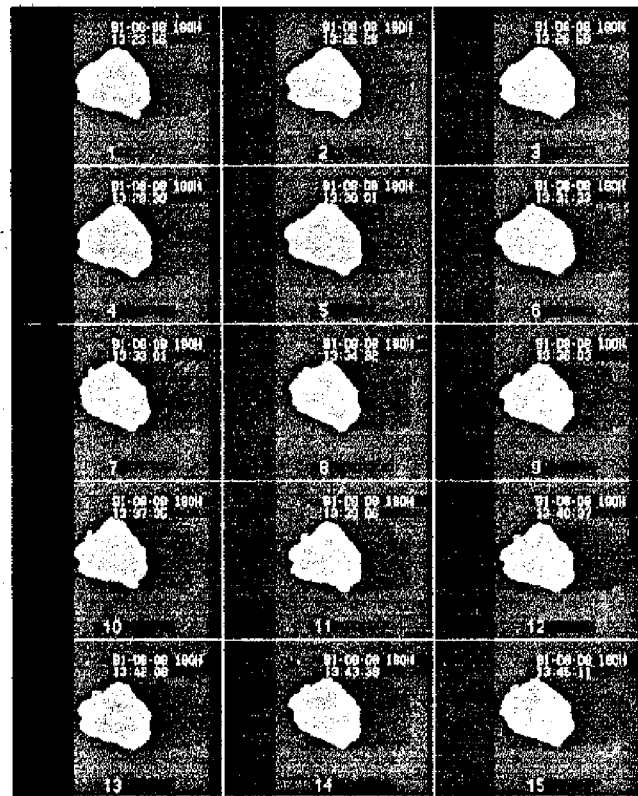


図2 ヒドラの解離細胞集合体の自己組織化過程における時間変化（90秒間隔）



図3 解離細胞集合体の抽出

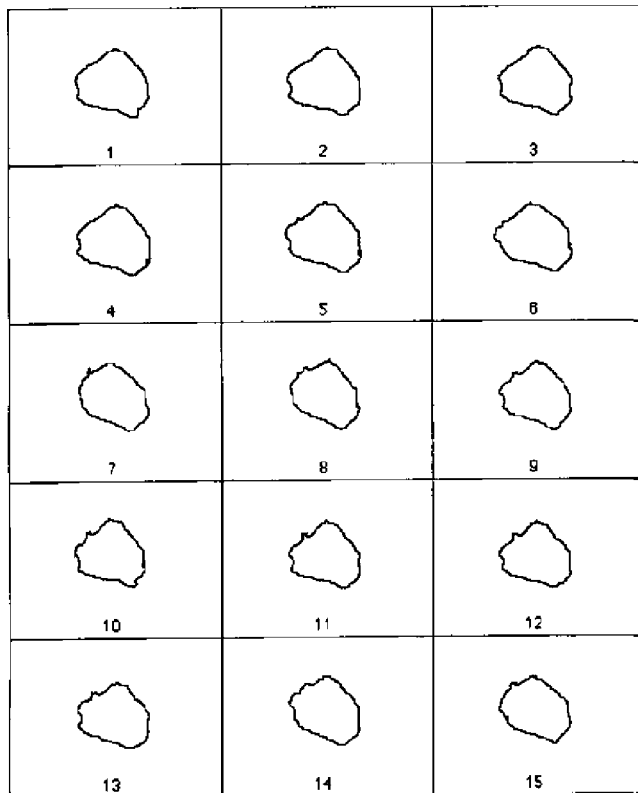


図4 輪郭線の抽出

この画像から輪郭線のみを抽出したのが図4である。時間とともに輪郭の形が変化している様子が分かる。

更に細胞集合体の重心の空間的位置の変化を測定した結果を図5に示す。細胞集合体は形だけではなく、位置も変えて動いていることが分かる。

これらの動きの変化は細胞集合体のある再生過程における局所的な時間変化であるが、細胞集合体の各再生過程(細胞選別、空洞形成、構造形成等)における長時間に亘る動きの時間的変化が重要であると思われるため、各再生過程における特徴的な情報量として、動きの情報量を定義する試みを行ってみた。

具体的には、細胞集合体の重心を中心として、輪郭線上の点の重心からの距離の変化量を、角度方向に対して測定を行った。

計測結果の例を図6に示す。角度方向にある

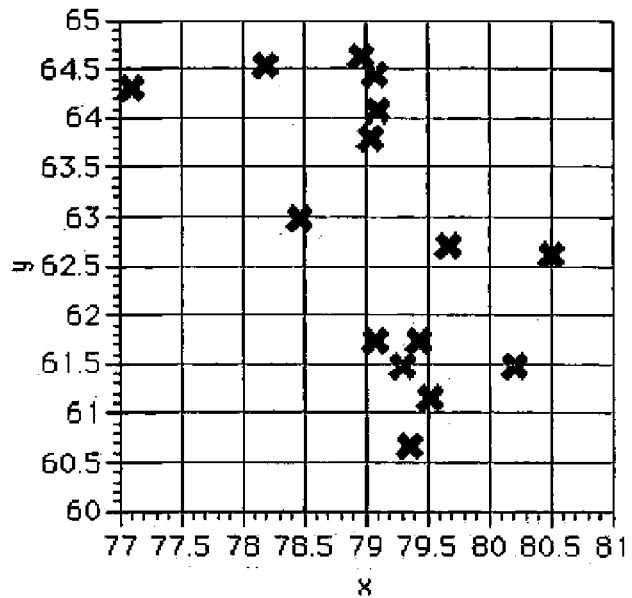


図5 細胞集合体の重心の空間的位置の変化

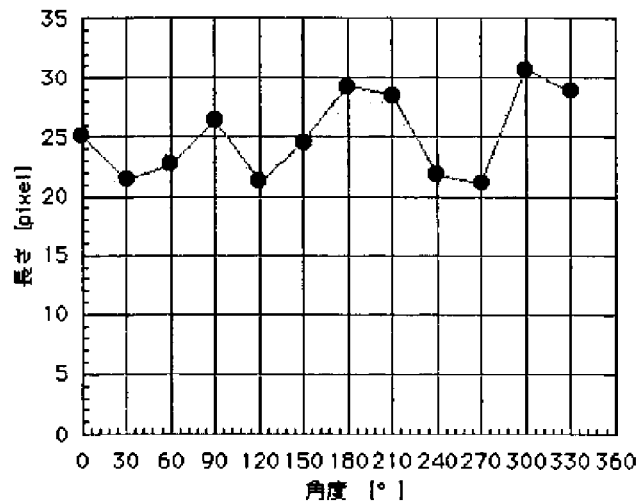


図6 細胞集合体の動きの情報量の測定
(角度方向の形の変化量)

特定の周波数で周期的に変化している様子が見られるため、更に各再生過程における詳しい空間周波数解析を行い、特徴的な周波数を抽出し、この時間変化を解析することにより、動きの情報量として扱うことができるのではないかとということが予想される。

5. 考察

今回用いた解離細胞集合体の画像は、自己組織化過程のある特定の過程のものである。そこで、解離細胞集合体の自己組織化過程における細胞選別過程、空洞形成過程、構造形成過程等の異なる過程における動きの変化を調べる必要がある。

そこで今回定義した、形の変化の空間周波数を、動的過程の情報量として一般的に扱い、その時間変化の詳細な解析を行うことにより、自己組織化過程の解明を行っていきたいと考えている。

更に形態形成や神経網形成などの生体における自己組織化過程は、動的な過程であるため、その動的過程における変化量の1つとしてのこの動きの情報量を当てはめて解析することにより、生体における動的過程を総合的に定量化して扱うことが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) Y. Sawada: A scaling theory of living state, *Physica A*, pp.543, (1994)
- 2) H. Ando, Y. Sawada, H. Shimizu and T. Sugiyama: Pattern Formation in Hydra Tissue without Developmental Gradients, *Dev.Biol.* 133, pp405, (1989)
- 3) M. Sato and Y. Sawada: Regulation in the numbers of hypostomes and tentacles of aggregated Hydra cells, *Dev. Biol.* 133, pp119, (1989)