

生体の自己組織化過程における動的情報量解析

安 藤 浩 司

Analysis about Dynamic Quantity of Information in Self-organization Process of Organism

Hiroshi ANDO

Abstract

The freshwater coelenterate hydra has strong regeneration capacity. Hydra regenerates from aggregation of dissociated cells. In this regeneration, the dynamic process of cell selection, hole generation and form generation are visible. In order to analysis of this dynamic process, analysis about dynamic quantity of information in regeneration of aggregate of cells was performed using image processing.

1. はじめに

生物において最も生き生きして生物らしいと思われる特徴の一つに、初期発生においてみられる、形態や構造の自己組織化過程があげられる。

再生力の強い生物として有名な腔腸動物ヒドラは、生体の自己組織化過程の研究においてモデル系になっており、自己組織化過程が初期発生においてだけではなく再生過程においてもみられ、また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に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的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。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)であり、通常ヒドラはこの出芽によって自己のクローンを複製して増殖する。

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、また自己組織化過程の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 8100/100 AV で、画像の取り込みは内蔵のビデオ回路を用い、画像処理ソフトウェアとして NIH Image を元に改良された Scion Corporation の Scion Image 1.62 を用い、直接入力・画像処理・画像解析の総合処理を行った。



図 1 日本産チクビヒドラ (105)

4. 解離細胞集合体の動的情報量解析

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、全体的な動きの変化を見るために、各コマに番号を付けて背景と分離して、細胞集合体のみを抽出した。この画像を図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結果、時間とともに輪郭の形が変化し

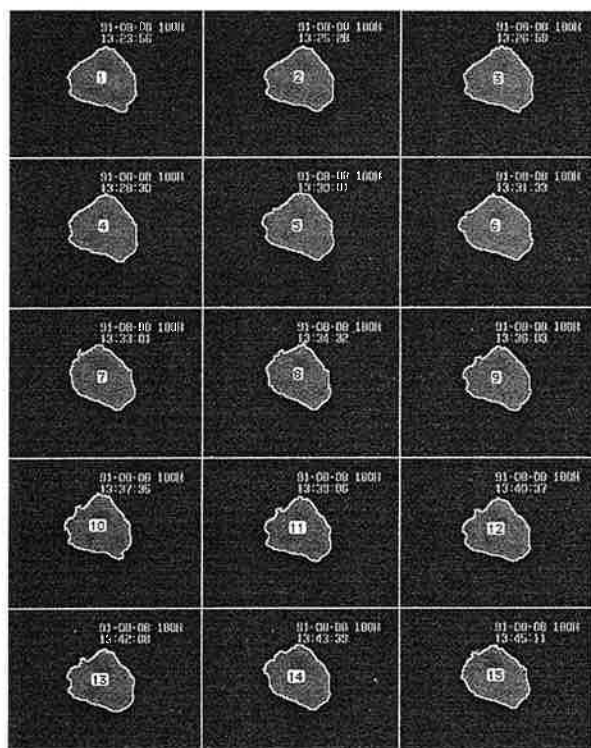


図2 解離細胞集合体の抽出 (90秒間隔)

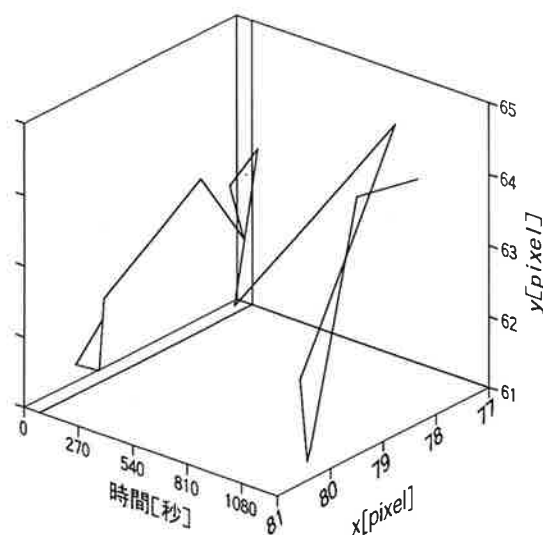


図3 重心の位置の時間変化

ているのが分かった。更に細胞集合体の重心の空間的位置の時間変化を測定した結果を図3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。

これらはある再生過程における局所的な時間変化であるが、集合体の各再生過程における時間変化が重要であると思われるため、各過程における特徴的な動的情報量として、を定義する試みを行ってみた。

具体的には、集合体の重心を中心として、角度方向における形の変化を表す量として、輪郭線の重心からの距離の変化の測定を行った。各々の時間における計測結果を図4に示す。

また時間変化を表す3次元グラフを図5に示す。時間的には若干の揺らぎがあるが、角度方向にある特定の周波数で周期的に変化している様子がはっきりと見られる。ヒドラの自己組織化過程では周期的な信号が重要な役割を果たしているという報告があるため、更に詳しい空間周波数解析を行い、特徴的な周波数の抽出と各過程における違いの解析を行うことにより、自己組織化過程

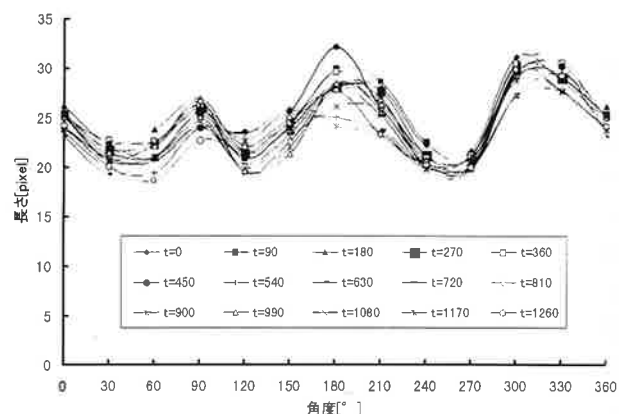


図4 各時間における動的情報量の角度方向分布

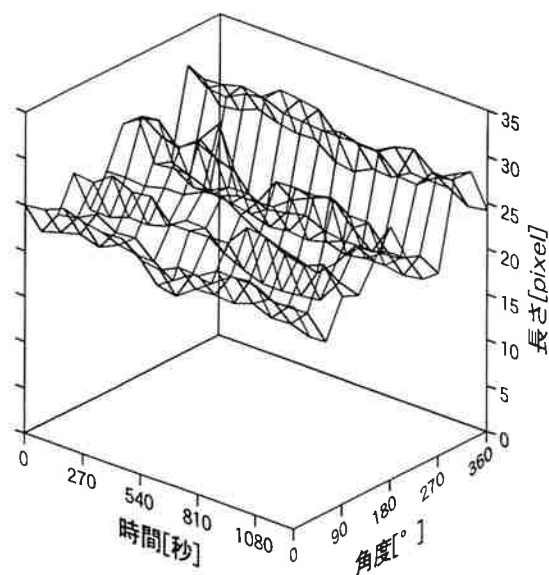


図5 動的情報量の時間変化

における動きの情報量として扱うことができることが予想される。

5. 考 察

今回用いた解離細胞集合体の画像は、自己組織化過程の一部の過程のものである。そこで、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。そこで今回提案した、形の変化の空間周波数を、動的情報量として一般的に扱うことにより、より詳しい解析をおこなうことが可能となる。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。

また現在 NIH Image を元に Widows95 用に移植された Scion Image beta2 を用いて、処理速度の向上と画像解析動作の確認を行っている。

参 考 文 献

- 1) Y. Sawada. Physica A, pp. 543, (1994)
- 2) H. Ando, Y. Sawada, H. Shimizu and T. Sugiyama. Dev. Biol. **133**, pp 405, (1989)
- 3) M. Sato and Y. Sawada. Dev. Biol. **133**, pp 119 (1989)