

## 局所的相互作用モデル"Celloid"における大域的秩序の出現(第2報).

## 3P-9 - シアノバクテリアの異質細胞形成をヒントにした改良 - \*

稲吉 宏明<sup>†</sup>電子技術総合研究所<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

(人間を含めた)多細胞生物はその名の通り、部品たる細胞が多数集合したのものとして存在している。その際に「同一種類の部品だけ(例えば筋肉細胞のみ)集めたものでは個体は構成できない」し、「多種類の部品(筋肉細胞、脳細胞、肝細胞等)が存在しても、それらがバラバラに動作しては個体を維持できない」。故に、多細胞生物においては、細胞の役割分担(分化)、および適切な細胞間相互作用が重要なことが判る。

実際、生物においては

- 部品たる細胞は局所的規則に従い動作しているに過ぎない;
- にもかかわらず、部品間の相互作用を通じて大域的秩序(個体としての統一性)が出現(emerge)している。

筆者は現在、多細胞生物に見られるこのような現象を人工的に再構成しようと、“Celloid for Organismoid”と名付けた研究に取り組んでいる(文献[1],[2])。即ち、部品として細胞もどき(Cell-oid)を設計し、それらを集団として相互作用させることにより、有機体もどき(Organism-oid)を出現させようとする研究である。

前回の報告では、この一例として「昆虫等の剛毛発現過程に見られる大域的秩序の出現現象(=“LAS(=Largest Available Space)”現象…まわりに剛毛が発現していないところに最新の剛毛が発現する現象)」をとりあげ、その「AL的再構成」のためのからくりとして“box-in-box-type genetic network”と名付けたモデルを導入した。しかし同モデルの欠点として、(1)多種の相互作用物質を要している点; (2)秩序の程度がそれほど高くない点; が挙げられる。

本報告では、これらを改良すべく導入された“P&Cモデル”と名付けられたからくりを紹介する。

\*The Emergence of Global Order out of Local Interaction between “Celloid”s (Part II) - An Improvement based on Heterocyst Formation in Cyanobacteria -

<sup>†</sup>Hiroaki Inayoshi (e-mail: inayoshi@etl.go.jp)

<sup>‡</sup>Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan

## 2 シアノバクテリアにみられる異質細胞形成現象(文献[3]pp.77-80)

ある種のシアノバクテリア(原核生物の一員)は窒素固定能力を持つ。(ただし窒素固定能力とは、そのままでは利用できない $N_2$ を、 $NH_3$ 等の生物に利用可能な窒素化合物に変換する能力を指す。)この窒素固定は異質細胞とよばれる特別な細胞内でのみ行なわれる。しかし窒素固定はエネルギー的に高くつく。故に、この能力は固定窒素源が乏しい時にのみ発揮すればエネルギーの節約につながる。実際、異質細胞の周辺の細胞は固定窒素の供給源(=異質細胞)が近傍にあるため、窒素固定の潜在能力を持ちながらそれを発揮する必要がない。

## 3 P&amp;Cモデル

前節の知見をヒントにして下記のような“P&C”(Producers and Consumers; 生産者と消費者)モデルを設定する。(以下で{細胞}とあるのは皆celloidを意味している。)

- (1) [伝達物質]: 2状態( $m$  or  $m^*$ )を採り得る、単一種類の物質を考える。(  $m$  は「容器のみ」、 $m^*$  は「容器+エネルギー」に対応。)
- (2) [P/C機械](図1参照): 各細胞に1台の“P/C機械”が存在し、次の2モード中のいずれかの動作を行なう。  
P-mode:  $m \Rightarrow m^*$  (エネルギー生産);  
C-mode:  $m^* \Rightarrow m$  (エネルギー消費);  
(P-modeは前節の異質細胞に対応。)
- (3) [{ $m$  or  $m^*$ }]と[{P or C}]の相互作用様式(図2参照):  
P-modeおよびC-modeは各々、長さ $L_P$ および $L_C$ のstackを有する。  
• Pに $m^*$ が入った時、および  
• Cに $m$ が入った時、  
それらはstackに蓄積される。ただしこれら( $m^*$  in Pおよび $m$  in C)は、  
• Pに $m$ が入った時、および  
• Cに $m^*$ が入った時、  
各々1つがstackから解放される。(図2下図参照):

- (4) [P-mode ⇔ C-mode 間の遷移(スイッチ)]  
 長さ  $L_P$  の stack が  $L_P$  個の  $m^*$  で溢れると  
 $P \Rightarrow C$  の遷移が起きる(同時に  $L_P$  個の  $m$  を解放)。  
 同様に長さ  $L_C$  の stack が  $L_C$  個の  $m$  で溢れると  
 $C \Rightarrow P$  の遷移が起きる ( $L_C$  個の  $m^*$  を解放)。

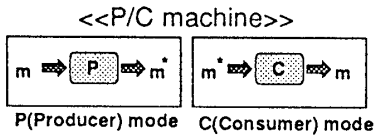


図 1: P/C 機械の概念図

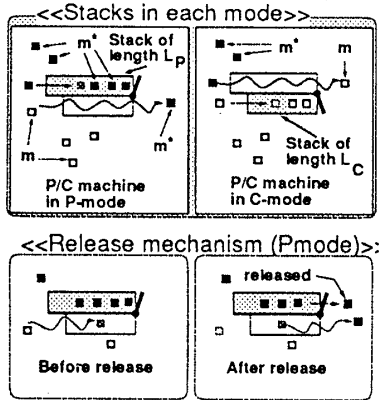


図 2: stack および “release” の概念図

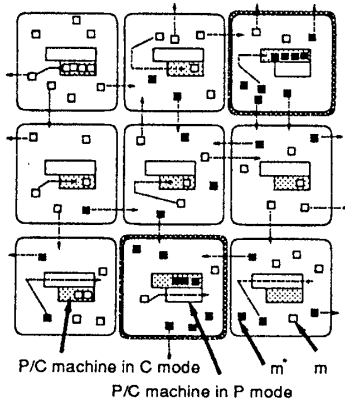


図 3: 4 細胞と隣接する場合の “celloids network”

#### 4 celloids network 全体の動作

図 3 は 2 次元格子上に celloid を配置した場合の相互作用の様子を 9 細胞のみに着目して示したものである。(昆虫剛毛についていえば、P 状態が発毛、C 状態が脱毛状態に対応する。) 系全体では、伝達物質の総数不変で以下の処理を反復する：

- 1 : 伝達物質が “stack 状態 (=stack 中に存在)” ならば、nop (=no operation);
- 2 : 伝達物質が “free 状態 (=stack 外に存在)” ならば、{ • (a) nop (確率 1/4); • (b) P/C 機械に入る (確率 1/4); • (c) 隣接細胞に移動 (確率 1/2); } のいずれかを行なう。
- 3 : 2(b) において P/C 機械が前節 (4) の条件を満たしたならば  $P \Leftrightarrow C$  遷移を行なう。

#### 5 おわりに

本報告では、局所的相互作用を通じて大域的秩序が出現する現象の探求の第 2 報として、celloid における LAS (= Largest Available Space) 現象の再構成のための「P & C モデル」を紹介した。伝達物質については、前回のモデルでの 8 種に対し、「2 状態をとる一種の物質のみ」への簡略化がなされた。秩序の程度に関して、図 4 の前回の結果を上回るべく、現在モデルのチューニングを行なっている。(図 4 は上下共に縦 100\* 横 100 細胞での発毛状況を示し、上は対照実験(ランダムな発毛/脱毛)である。各 3 つの図は 3 つの時刻のスナップを示し、黒点は発毛細胞に対応。)

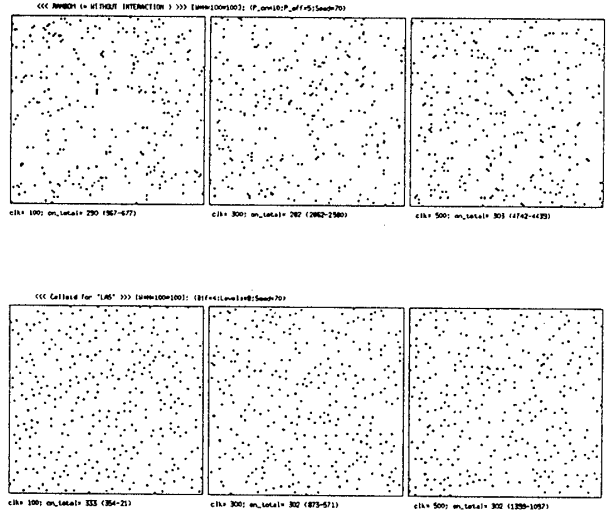


図 4: 前回のモデルでの実験結果(上: 対照実験)

#### 参考文献

- [1] 稲吉宏明, 情報処理学会第 46 回全国大会:2-275 (1993)
- [2] 稲吉宏明, 情報処理学会第 47 回全国大会:2-247 (1993)
- [3] Schopf J.W. “The evolution of the earliest cells.” (日経) サイエンス 1978 年 11 月号, pp.64-85.