

## 局所的相互作用モデル“Celloid”における大域的秩序の出現.\*

7N-1

稲吉 宏明†

電子技術総合研究所‡

## 1 はじめに

AL(人工生命)の研究においては、「系の emergent property (出現する性質)」が重要である。《「頭脳/神経系のはたらき」も「ニューロン間の相互作用を通じてはじめて出現する性質である: これは「ニューロン or シナプスを1個 or 複数個、削除する」(neuronal network (=graph) 中の subgraph の削除) という思考実験を試してみれば明らか! 単体のニューロン一個だけでは、頭脳/神経系の機能はもちろん果たせない!》この「出現する性質」をボトムアップ的に探求する研究として、筆者は現在“Celloid for Organismoid”と名付けた研究に取り組んでいる。(文献[1].) 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(Organismoid)を出現させようとする研究である。本報告では、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”現象…2節参照)をとりあげ、その「AL的再構成」のモデル(“box-in-box-type genetic network”)を報告する。

## 2 LAS 現象について

昆虫等の剛毛(bristle)発現過程では「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」が見られる。(図1, 文献[2]参照) 各細胞は隣接細胞(および外界)としか相互作用していないにも関わらず、各細胞の「剛毛を形成する/しない」の局所的決定結果は、大域的にみると秩序を形成している。各細胞の分化決定は、「局所情報に基づく二者択一」を意味しており、生物における(眼、皮膚、髪等の)「細胞タイプの分化」は「選択肢が増加したもの」に対応すると考えられる。故に celloid で一般的な「(局所情報に基づく)多選択肢的の分化」に取り組むための第一段階として、最も単純なケース即ち「二者択一分化」現象である LAS 現象が「AL的再構成」対象として選ばれた。

\*The Emergence of Global Order out of Local Interaction between “Celloid”s.

†Hiroaki Inayoshi (e-mail: inayoshi@etl.go.jp)

‡Electrotechnical Laboratory

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

## 3 “box-in-box type genetic network”

“genetic network”を「gene (= node) が種々の作用効果 (= edge) で結ばれた network」と定義する。また、“box-in-box”は図2のように箱の中に箱が入っている状態を指し、“box-in-box type genetic network”は同図左下に見られるような「genes とその products 間の相互作用ネットワーク」を意味する。

文献[3]では「遺伝子の発現制御において Lock & Key (= L& K ; 鍵と鍵穴) 的な特異的な分子認識が関与していること」が、また文献[4] (p.52) では「L & K 的な分子間結合(認識)を利用した分子間結合の抑制方法」が示されている。これらをヒントにして celloid 間の相互作用様式を以下のように設定する: (以下で { 細胞, unit, node } とあるのは皆 celloid を意味している。)

- (0) 全細胞で同一の“lock 付き”箱集合(box-in-box; 図2)が各細胞内に1セットずつ存在する。(箱集合は  $\text{genom} = \text{a set of genes}$  に対応し、各箱ひとつは gene ひとつに対応する。)
- (1) 各細胞は各自のロックつき箱を次々に開き、最内部のレベルに到達しようとする。ただし、ロックは箱レベル毎に異なり、ロックが開く確率は、後述の伝達物質の影響を受ける。
- (2) 箱が開くと箱のレベル固有の「伝達物質」が解放される。(各伝達物質は「L & K 対応」する種類のロックとのみ結合できる。)
- (3) 解放された伝達物質は、“free”状態となり、次の(a)~(d)のいずれかの状態に遷移できる(図3右参照): (a) port 経由で他細胞に移動; (b) 箱の lock に結合し、“bond”状態となる; (c) 分解される(dissolve); (d) free 状態のまま;
- (4) “free”状態にある伝達物質は、「L & K 対応」するロックと結合する(= “bond”状態に遷移する)ことができ、特異的な効果を及ぼす。即ち、活性効果ならばロックを開きやすくし、抑制効果ならば開きにくくする。「L & K 対応」しないペアでは伝達物質とロック間で結合がおきないため、何の

影響も及ばさない。(これにより、自分で自分を抑制するケースが回避できる。)

- (5) あるレベルの箱に到達すると剛毛形成能力を獲得/発揮できる。
- (6) 最終(=最内部)レベルの箱が開くとその細胞はアポトーシス(細胞死)を起こし、脱毛(=剛毛の消滅)&(局所的)再スタート(=新旧交代/代謝)。

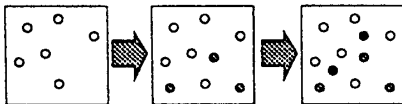


図1: LAS(Largest Available Space) の概念図

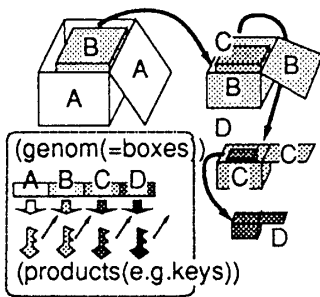


図2: "box-in-box type genetic network" の概念図

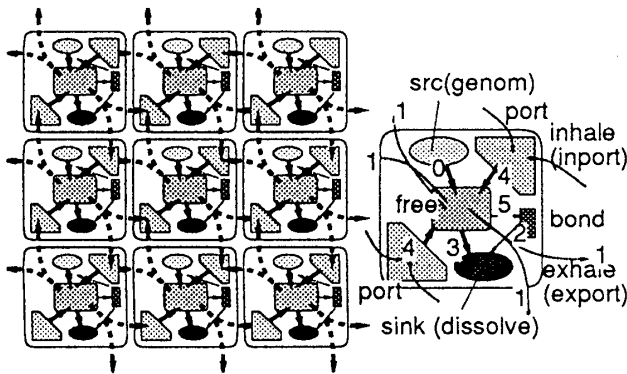


図3: 4 nodes と隣接する場合の "celloids network"

上記の相互作用メカニズムの設定における幾つかのポイントを以下に列挙する: (A) 「箱が開く」ことは「遺伝子が発現」することに対応する; (B) 遺伝子が発現するときの(副)産物である伝達物質により細胞間相互作用が行なわれる(他の細胞の遺伝子発現プロセスに影響を与える); (C) 全細胞は共通の遺伝子セット(= boxes)をもつが、その発現(open)状況は細胞毎に異なる; (D) 内側の箱(= gene)はその外側の箱が開かない限り、発

現できない; (E) 箱を開くためには、「箱のロック(or 鍵穴)」にマッチする「鍵」を見つけることが必要であり、一度開いたロックは、再スタート(新旧交代/代謝)時まで開いたまま;

#### 4 celloids network と各 celloid の動作

図3左は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 nodes のみに着目して示し、同図右は1つの celloid の動作を示したものである。

理想的には「伝達物質1つ1つに対し、現状態から {free, bond, dissolve, port} 中の遷移可能な状態への(動的)遷移確率に従い、状態遷移を行なう」方式が望ましいが、計算量が膨大となるため、下記の逐次方式の動作をとる。(逐次方式では同一種&同一状態の伝達物質(X個とする)をまとめて遷移対象とし、X個中のp%が状態αに遷移し、残り中のq%が状態βに遷移するという形で逐次処理する。)実際には下記の6動作が各細胞で同期的に反復される:(数字は図3右に対応)

- 0 try to open the box at the current level.  
(if succeed, "source" → "free")
- 1 exhale. ("free" → "port")
- 2 bond の解離. ("bond" → "dissolve")
- 3 dissolve. ("free" → "dissolve")
- 4 inhal. ("port" → "free")
- 5 bond 形成. ("free" → "bond")

#### 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として、celloid モデルによる LAS (= Largest Available Space) 現象の「AL 的再構成」を紹介した。都合により残念ながら掲載できなかった上記モデルでの実験結果に関しては、講演での報告を参照されたい。

今後の課題として、・上記モデルで隣接構造を変更した場合(4隣接→{3隣接、6隣接、および、ランダム隣接})の効果を調べること、および、・「局所的相互作用のみを通じた大域的パターン形成」の別の現象である、「国旗パターン形成問題」に取り組む予定である。

#### 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] Lawrence P.A. "The Making of a Fly", Blackwell Scientific Publications, 1992.
- [3] Rhodes D. & Klug A. 「ジंकフィンガーによる遺伝子の発現制御」, 日経サイエンス 1993年4月号, pp.96-106.
- [4] Sharon N. & Lis H. 「細胞間認識を担う糖鎖」日経サイエンス 1993年4月号, pp.46-55.