

‘blind-ism’ および 時間リズムの創発について*

2E-8

稲吉 宏明†

電子技術総合研究所‡

■1 はじめに

人工生命研究においては、「創発」が重要とされる。本稿では「創発」に関し、かなり役立つと思われるパラダイムとして、‘blind-ism’ という概念を紹介する。と同時に、このパラダイムの応用例として、筆者設計の‘CP-world (Conserved Particles world = 保存粒子世界)’における時間リズムの創発を報告する。

本稿のポイントは(1) ‘blind-ism’ の提唱; (2) ‘CP-world’ の設計; (3) 時間リズムの創発; の3つである。

■2 ‘blind-ism’ について

‘blind-ism’ とは、簡単にいえば「創発現象が見られる系においては、その系を構成する部品集合中の各部品は《盲目的に》振舞い、非盲目的つまり系全体を見渡して把握しているような部品は存在しない」という主張である。(これは、従来既にいわれている「進化の盲目性」に関する概念ではない。)

2.1 ‘blind-ism’ 例 # 1 《個体群動態》

自然界において ‘blind-ism’ を示す典型的な例として個体群動態をとりあげ、個体群動態学の‘Lotka-Volterraモデル’との比較で説明する。

‘Lotka-Volterra 方程式’とは、良く知られている通り、捕食者、被食者 (= 餌) の各個体数: n_1, n_2 についてそれらの時間変化 \dot{n}_1, \dot{n}_2 に関する下記の方程式を指す[1]。(ただし、 $\alpha_1, \alpha, \beta, \kappa$ は比例定数。)

$$\dot{n}_1 = \alpha_1 n_1 - \alpha n_1 n_2$$

$$\dot{n}_2 = \beta n_1 n_2 - \kappa n_2$$

しかし、実世界においては捕食者/被食者各個体は、大域の変数である n_1, n_2 を《把握して増殖/死滅する》わけではなく、各々の状態 (餌にありつけた/ありつけなかった等) に応じて《盲目的に増殖/死滅》している。例え《結果的に》上の方程式に従うことになるとしても、それはあくまで結果であり、方程式を原因としてそれに従っているのではない。

*Proposing the ‘blind-ism’ as an A-life paradigm with an example exhibiting emergent rhythms.

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

‡Electrotechnical Laboratory

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

2.2 ‘blind-ism’ 例 # 2 《神経細胞の盲目性》

‘blind-ism’ を示す他の典型的なしかし重要な例として生物の脳/神経系が挙げられる。神経細胞集団全体としてみると、調和して、脳/神経系の機能が創発されているが、神経細胞個々は、「全体とは無関係に、自分がおかれた局所的環境に《盲目的/機械的に》反応する」に過ぎない。

この「反応規則」が、偶然「細胞集団全体の調和」につながる個体は生存競争で有利になり生き残ったが、神経細胞個々は、「全体の役に立とう」とか「全体を支配しよう」とかの「意図」はない。

生物脳の部品である神経細胞個々は、「各自の持つゲノム (= 遺伝子集合がつくるプログラム)」に従い《盲目的に》

- 細胞分裂/細胞死する、
- シナプスを延ばす/壊す、
- シナプス重みを増やす/減らす、
- 細胞間伝達物質を放出する、

等の動作をしているにすぎない。どの動作 (応答) を行なうかは、

- (1) 細胞外部からの信号 (= 入力)
- (2) 細胞内部の内部状態
- (3) ゲノム

の3つで決まる。

■3 ‘CP-world (Conserved Particles world = 保存粒子世界)’

我々の存在する世界では、(宇宙生成時や核融合/核分裂等の特殊な場合を除けば) 基本的に粒子 (原子) が保存されている。そして、この保存された粒子集合が「大気、植物、動物」等の間を循環することにより多様な生命現象が創発している。即ち、生物には誕生&消滅があるのに対し、粒子集合は、基本的に不変不滅で、その組合せのみが動的変化を反復している。

従来の人工生命モデルで上の点を考慮したものは残念ながらほとんどみられない。そこで筆者は「保存粒子世界」の例として下記のモデルを設計した(ただし本モデルは、個体群動態を念頭においた場合のものである):

◆ 《粒子種類》 基本的には x と k の2種類で、後者は紫外線のような破壊作用を持つ “killer” 粒子。また、次項にある通り、 x が A 個有機的に結合したものは、1個の y 粒子とみなし、 y が B 個有機的に結合したものは、1個の z 粒子とみなす。故に、外見上は $\{x, y, z, k\}$ の4種類の粒子が存在。 $\{x, y, z\}$ に関しては、各々無性生殖する {植物、草食生物、肉食生物} に相当する。

◆ 《粒子の反応規則》

$$Ax \rightleftharpoons y ; By \rightleftharpoons z \quad (1)$$

$$Ax + y \rightleftharpoons 2y ; By + z \rightleftharpoons 2z \quad (2)$$

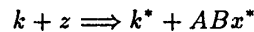
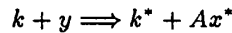
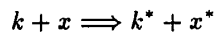
$$x + y \rightleftharpoons y(1) ; y + z \rightleftharpoons z(1) \quad (3)$$

$$x + y(i) \rightleftharpoons y(i+1) ; y + z(i) \rightleftharpoons z(i+1) \quad (4)$$

$$y(A) \rightleftharpoons 2y ; z(B) \rightleftharpoons 2z \quad (5)$$

※ (1) 式の通り、植物が A 個体集まるのみでは草食生物にならない点に注意。(3)-(5) 式をまとめたものが(2)式である。

◆ 《粒子の状態および反応規則補足》 x と k は {活性状態/不活性状態(*で示す)} のいずれかにあり、活性の k は、次式のように $\{x, y, z\}$ を還元する。



k^*, x^* は各々単位時間あたりある確率で、活性化する。 $(k^* \rightleftharpoons k; x^* \rightleftharpoons x;)$

※ k^*, x^* は $\{x, y, z, k\}$ と反応できない点に注意。粒子は不滅でも反応能力は変化する。この設定は {植物、草食生物、肉食生物} の各個体の死後すぐに植物にならず、ある時間後に摂取可能な植物となる、という現実事象をとりいれたもの。

◆ 《格子状世界》 粒子の存在する空間は格子分けされた空間の1格子内部であり、粒子の空間移動は隣接する格子間でのみ可能。

◆ 《粒子の振舞い規則》 各粒子は [1] 何もしない; [2] 隣接格子に移動; [3] 自分の属する格子内の他粒子と反応; | のいずれかを確率的に選択する。ただし粒子が「不活性」の場合は、[3] 活性化する; が [3] の代わりとなる。1時間ステップあたり1個の粒子が振舞いを選択する。

■ 4 実験結果：リズムの創発

前節の設定下(簡単のため $A = B = 1$)での実験結果の例を図1,2に示す。ただし同図は各々 $\{y, z\}$ 粒子数の短期&長期的時間変化を表す。前節に記述した通り、

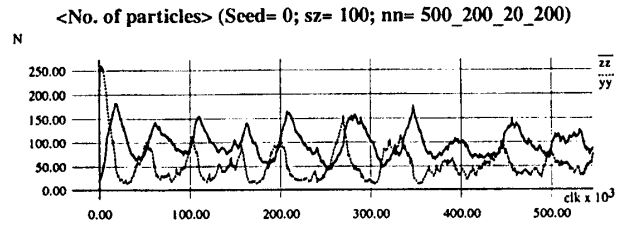


図 1: z, y 粒子数の時間変動 (短期)

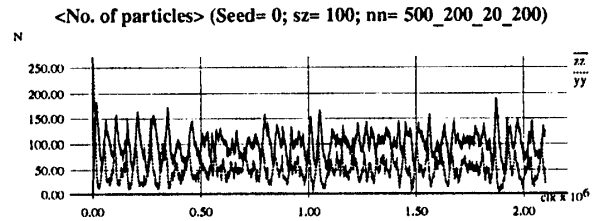


図 2: z, y 粒子数の時間変動 (長期)

各粒子は振舞い&反応規則に従い、《盲目的に》動作しているのだが、大域的には粒子数のリズム変動が創発している。(図の実験は初期粒子数: $N(z) = 20; N(y) = 200; N(x) = 280; N(k) = 200;$ で $10 * 10$ の2次元格子空間でのもの。) 周期や振幅は必ずしも揃っていないが、かえってこのような揺らぎのあるリズムが「生物的」と捉えられるのではないか。

■ 5 おわりに

本稿では、'blind-ism' と名付けたパラダイムを紹介するとともに、この応用例として「保存粒子世界」で創発するリズム現象を報告した。このリズムは、諸確率値等のパラメータに依存しており、パラメータ設定とリズム性質の関係の把握が今後の課題のひとつである。

本モデルでは、「絶滅」により、 z, y 粒子数のいずれかがゼロとなるといずれ z, y 粒子は生成不能となる、という不安定性が残る。他方生物では遺伝子産物の時間変動が知られており、これに関与する遺伝子も同定されている [2]。この場合は遺伝子が DNA 上に「絶滅」せずに保存され、転写のスイッチにより遺伝子産物の時間変動が起こるものと思われる。故にこのモデルによる安定なリズムの創発にこれから取り組む予定である。

参考文献

[1] H. Haken 「協同現象の数理」 (牧島&小森共訳、東海大出版) (1980)
 [2] Marcia Barinaga : “New Clock Gene Cloned”, Science, V.270, No 5237, 95-11-03, pp. 732-733