

# 多段創発計算モデルの提案

6K-1

米津光浩 中西正和

慶應義塾大学 理工学研究科 計算機科学科

## 1. はじめに

近年、人工生命の研究が盛んであるが、その理論的背景には生物学や複雑系の数理などを借りてくるのが主流であり、計算の理論からのアプローチを試みている研究は殆どない。本発表では、以前提案した一般化ハイパーサイクルを記号計算システムの基本アイデアについて述べる。

## 2. 一般化ハイパーサイクル

Eigen は自己増殖可能な分子からなる、ハイパーサイクル (hyper-cycle) を考案して、生命発生の第2段階を説明しようとした [2]。このハイパーサイクルの中の自己増殖という側面を切り捨て、我々は一般化ハイパーサイクル (generalized hyper-cycle) を提案してきた [6, 5, 7]。一般化ハイパーサイクルは、サイクルのサイクルであり、閉じている必要はない。一般化ハイパーサイクルは、開放定常系とみなせる。また、その特殊な場合として、通常のハイパーサイクルを含む。自然界には、マイクロ、マクロといったスケールには関係なく、このような一般化ハイパーサイクルが見い出せる (クレブス回路 (図1) など)。

生命系は代謝によって自己を構成する分子を入れ換えながら安定性を維持する開放定常系となっている。一般化ハイパーサイクルが開放定常系の表現であり、生命系が開放定常系であるならば、生命系の特徴を一般化ハイパーサイクルによって抽出できると考える。そこで、一般化ハイパーサイクルはどのようにして創発するかが根本的な興味になる [5]。

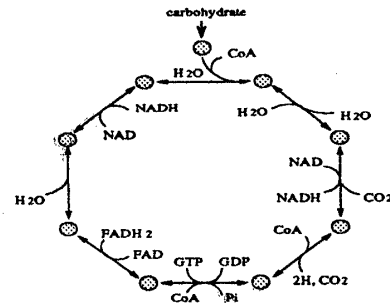


図1: クレブス回路の概略

## 3. 化学オートマトンの問題点

化学オートマトンは反応、拡散、および分子の極性を離散力学系の式で表現したモデルであったが、以下のような問題点があった。

- 粒度が細かすぎ、多段の創発を扱えない
- 抽象度が低く、計算モデルとしての解析が困難である

## 4. CHAM とその問題点

CHAM (CHemical Abstract Machine) [1] は並行プロセスの通信を化学反応とみなして形式化したモデルである。抽象度は高く、計算モデルとしての解析も行なわれているが、分子をプロセスとみなすため、以下のようにプロセスの消滅によって分子が消滅してしまうという問題がある。

$$\{a, 0, \bar{a}, 0\} \rightarrow \{0, 0\} \rightarrow$$

(0 は inactive なプロセスを表す項)

## 5. 多重集合遷移システム

化学反応する分子の系は多重集合遷移システム (multiset transition system) で形式化できる [3]。本研究では消滅することのない原子の上の多重集合遷移システムを用いる。以下に多重集合遷移システムの形式的定義をまとめる。

A computational model with multilevel emergence  
 Mitsuhiro YONEZU  
 Masakazu NAKANISHI  
 Department of Computer Science, Graduate School of  
 Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi,  
 Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223, Japan

### 多重集合の定義

多重集合  $S$  は可算集合  $D_S$  と写像  $\phi_S : D_S \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\omega\}$  によって定義される。ここで  $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$  は正整数の集合。習慣により、 $x \notin D_S \Rightarrow \phi_S(x) = 0$  と定義する。

$D_S \subseteq D$  のとき、 $S$  は  $D$  上の多重集合 (multiset over  $D$ ) という。

### 多重和集合 (multiset union) $S \cup S'$ の定義

$$\bullet D_{S \cup S'} = D_S \cup D_{S'}$$

$$\bullet \phi_{S \cup S'}(d) = \phi_S(d) + \phi_{S'}(d)$$

ただし、 $\forall n \in \mathbb{N} \cup \{0, \omega\}$ ,  $n + \omega = \omega + n = \omega$

同様にして2個の和集合に限らず(可算)任意個の和集合  $S = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} S_i$  が定義できる。

$$\bullet D_S = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} D_{S_i}$$

$$\bullet \phi_S(d) = \sum_{i \in \mathbb{N}} \phi_{S_i}(d)$$

ただし、 $\forall n_i \in \mathbb{N} \cup \{0, \omega\}$ , に対し、 $\sum_{i \in \mathbb{N}} n_i$  は、もし Pos が無限集合ならば  $\omega$  を、そうでなければ  $\sum_{i \in \text{Pos}} n_i$  とする。ここで、 $\text{Pos} = \{i \in \mathbb{N} | n_i \neq 0\}$ 。

### 多重集合遷移システム (多重集合書換え系)

を対  $(D, T)$  で定義する。ここで、 $D$  は(通常の)集合、 $T$  は  $D$  上の多重集合  $S_1, S_2$  の対によって与えられる基礎遷移 (basic transition) の集合。

より正確には  $\rightarrow$  は以下の公理と規則により定義される。

$S_1, S_2, S$  が  $D$  上の多重集合である時:

1.  $(S_1, S_2) \in T$  ならば  $S_1 \rightarrow S_2$

2.  $S_1 \rightarrow S_2$  ならば  $S_1 \cup S \rightarrow S_2 \cup S$

多重集合遷移システム  $(D, T)$  は Place/Transition net に正確に対応する [4](図 2)。 $D$  がプレースの集合、 $T$  がトランジションの集合である。

### 6. 多重集合上の創発

原子の多重集合  $S$  から細胞を合成することを考える。この合成アルゴリズムのことを本モデルにおける創発アルゴリズムと呼ぶ。本モデルでは、創発アルゴリズムを特に規定しない。

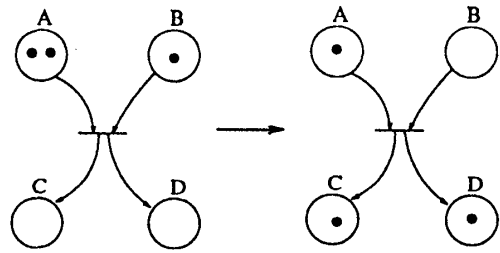


図 2: 多重集合遷移  $\{A, A, B\} \rightarrow \{A, C, D\}$  のペトリネットによる表現

### 創発の段数

原子のみから構成される細胞を1次細胞と呼び、1次の細胞が現れることを1次の創発と呼ぶ。一般に、構成要素の最大次数が  $n-1$  次の細胞を、 $n$  次細胞と呼び、 $n$  次の細胞が現れることを  $n$  次の創発と呼ぶ。

### 7. おわりに

今後は、一般化ハイパーサイクルを創発可能な創発アルゴリズムについて研究を進めていく方針である。

### 参考文献

- [1] G. Berry and G. Boudol. The chemical abstract machine. *Theoretical Computer Science*, Vol. 96, pp. 217-248, 1992.
- [2] M. Eigen. Selforganization of matter and the evolution of biological macromolecules. *Die Naturwissenschaften*, Vol. 58, pp. 465-523, 1971.
- [3] Joost Engelfriet. A multiset semantics for the pi-calculus with replication. In Eike Best, editor, *4th International Conference of Concurrency Theory*. Springer-Verlag, 1993.
- [4] W. Reisig. *Petri Nets*. EATCS Monographs in Theoretical Computer Science. Springer-Verlag, 1982.
- [5] 米津光浩. 化学オートマトンの定義と挙動. Master's thesis, Keio University, 1994.
- [6] M. Yonezu, H. Kitano, and M. Nakanishi. A proposal of chemical automata. Technical Report SIG-PPAI-9303, Japanese Society for Artificial Intelligence, 1994.
- [7] M. Yonezu, H. Kitano, and M. Nakanishi. Towards the emergence of coacervates in chemical automata. ALIFE IV poster, 1994.