

# 遺伝子制御ネットワークによる情報処理

井川 数志<sup>†</sup> 大橋 弘忠<sup>‡</sup>

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻<sup>†‡</sup>

## 1. はじめに

近年、発生生物学における適応性、自己組織化、自己修復などの複雑なメカニズムへの関心が高まっている[1]。進化計算では人工胚発生 (Artificial Embryogeny, AE) において発生学の仕組みを使い、スケーラブルなアルゴリズムを構築し、複雑な問題に適用する試みがなされている。この分野の特徴は、遺伝子型から表現型への変換過程を取り入れている点である。

この変換過程として注目されているものの 1 つが遺伝子制御ネットワーク (Gene Regulatory Network, GRN) である (図 1)。生物の発生過程は遺伝子の発現によりなされる。遺伝子は活性化すると転写因子 (Transcript Factor, TF) を生成する。この生成物は他の遺伝子の発現を活性化または抑制する。その結果、遺伝子同士が互いに調節しあい、全体の発生過程を制御する。

AE では GRN を用いて形態形成の研究がなされる一方で、近年ではロボット制御[2]、無理数の導出[3]などにも応用されている。すなわち、計算問題における情報処理への応用が試みられているのである。

そこで本研究では、GRN 適用範囲の拡張を目的とする。そのために、まず汎用的な GRN を提

案し、パターン形成を行う。そして同様の GRN によりネットワークを生成できることを示し、構造設計を行う。

## 2. Artificial GRN

### 2.1. 構成要素

提案する GRN の遺伝子型は複数の遺伝子から構成され、各遺伝子はビット列で表現される (図 2 a)。各遺伝子は刺激される部位 (調節領域) と、活性化された際の機能部 (構造遺伝子) からなる。同様に転写因子もビット列で表現する。

### 2.2. 遺伝子の挙動

転写因子は遺伝子の調節領域を刺激する (図 2 b)。この刺激が閾値を超えると遺伝子が発現し、構造遺伝子に記述された挙動をとる。この挙動は、「転写因子を産生する」か「表現型に何らかの命令を実行する」かのどちらかであり、構造遺伝子の最初のビットにより決定される。先頭のビットが 0 であれば前者を、1 であれば後者を実行する。産生する転写因子は構造遺伝子の 2 番目以降のビット列と同じものとする。また、命令は各種問題ごとに設定される。例えば、パターン形成であれば細胞の分裂・死滅、ネットワーク形成であればノード間の結合とリンクの切断となる。

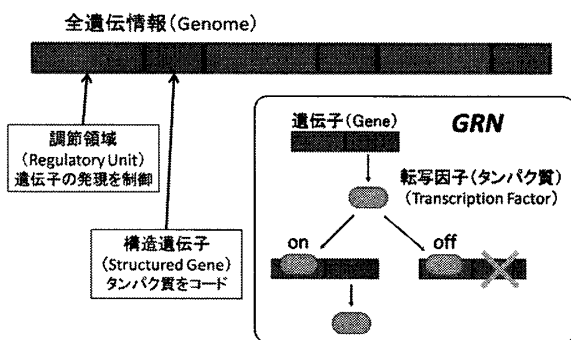
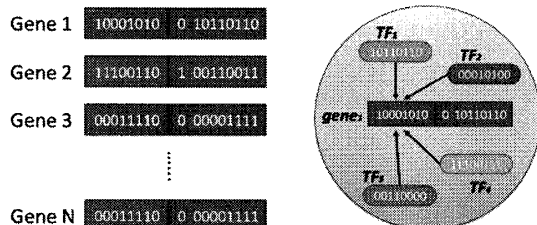


図 1. 全遺伝情報と遺伝子制御ネットワーク



(a) 遺伝子型 (b) 細胞内の相互作用

図 2. GRN の計算モデル

Information Processing by Gene Regulatory Network  
<sup>†</sup>Kazushi Igawa, Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo  
<sup>‡</sup>Hirotsuda Ohashi, Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo

### 2.3. 相互作用の定義

調節領域と転写因子の反応と遺伝子の発現は以下のように行われる。まず、調節領域と転写因子の親和度はビット列の類似度を用い、

$$aff(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{k=1}^8 \left\{ 1 - 2(b_k^{RU_i} XOR b_k^{TF_j}) \right\},$$

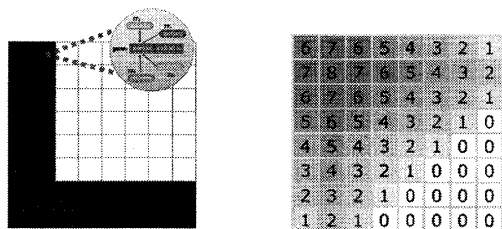
とする。ここで、 $b_k^{RU_i}$  は遺伝子 ( $i$ ) の調節領域における  $k$  番目のビットを表し、 $b_k^{TF_j}$  は転写因子 ( $j$ ) のビットを表す。遺伝子の活性度は、

$$act(i) = \frac{1}{C_{max}} \sum_j aff(i, j) \times conc(j),$$

とする。ここで  $conc(j)$  は細胞内における転写因子の濃度である。活性度が閾値を超えれば、その遺伝子は活性化され、構造遺伝子にコードされた機能が実行される。活性度が閾値を超えない場合、遺伝子の活動は抑制される。

### 2.4. 細胞の配置

2次元グリッド上におけるパターン形成では、各グリッド上に細胞が配置される。そして、細胞が存在する場所において GRN が機能する (図 3 a)。また、産生された転写因子は空間で拡散する (図 3 b)。図 3(b)内の数字は転写因子の濃度を表す。ネットワーク生成では、ノードを細胞と考え、各ノード内において GRN が機能する。



(a) 並列分散 GRN (b) 転写因子の拡散

図 3. 空間内に配置された GRN と TF の拡散

## 3. 結果

### 3.1. パターン形成

GRN を用い、2 種類のパターン形成を行った (図 2)。非常に単純なパターンではあるが、GP を用いると生成率は低く、かつプロトを起こしてしまう。一方、GRN は 10 個程度の遺伝子によりこれらを生成した。すなわち、GRN は AE の特性である高いスケラビリティを有する。

### 3.2. 構造設計

ネットワーク生成型の GRN を用いて 2 次元格子状上における構造設計を行った結果を図 3 に示す。格子状上にノードを配置し、ムーア近傍内の他のノードと接続され得る。各体系サイズで用いた遺伝子数は 20~30 である。

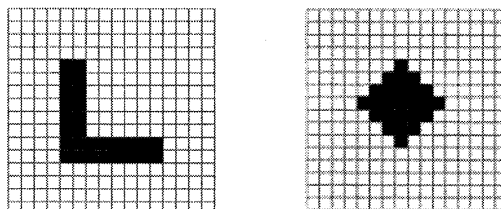


図 4. GRN により生成したパターン

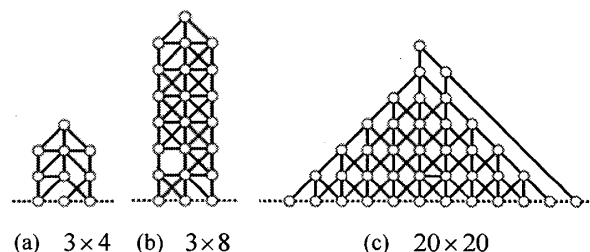


図 5. GRN による構造設計. (a) 3×4 格子, (b) 3×8 格子, (c) 20×20 格子状上で獲得したトラス構造.

## 4. 結論

提案した遺伝子制御ネットワークは同一の計算構造により複数の問題に適用できる。GRN による発生過程を取り入れることにより、構造設計においては体系サイズの増加にも対応し得ることが分かった。ゆえに、提案した GRN は汎用的な手法であり、本研究は GRN の適用問題の範囲を拡張した。

### 参考文献

- [1] K. O. Stanley and R. Miikkulainen, "A Taxonomy for Artificial Embryogeny," *Artificial Life* 9(2), 2003
- [2] S. Kumar, "A Developmental Genetics-Inspired Approach to Robot Control," *GECCO'05*, 2005
- [3] J. Krohn, P. Bentley, and H. Shayani, "The Challenge of Irrationality: Fractal Protein Recipes for PI," *GECCO'09*, 2009