

## 論文の内容の要旨

論文題目 : CONSTRUCTION OF ISOTROPIC CELLULAR  
AUTOMATON AND ITS APPLICATION  
(等方セルオートマトンの構成とその応用)

氏 名 : 西山 了允

近年のコンピュータの進化に伴って、現象のモデル化の方法としてセル・オートマトン (CA) が用いられるようになってきている。CA は近傍間の局所的な相互作用規則から簡単に、例えば生物の体表模様に見られるような複雑なパターンを生成することが可能である。CA の典型的な応用例として、周期性を持つ酸化還元反応であるベルーソフ・ジャボチンスキー (BZ) 反応のモデル化に対して盛んに研究が行われており、その現象の特徴を捉えたモデルが数多く提案されている。

BZ 反応は実験室内においてその反応が空間的に展開されると螺旋波やターゲット・パターンとして観測されることが知られる。しかしながら、これまでに提案された CA モデルから得られた時間発展パターンは、ほとんどの例において非等方性を持つことが指摘されている。CA は空間、時間、状態のすべての変数が離散的なモデルであり、セル状に分割された空間ではその格子の対称性に時間発展パターンが依存してしまうため、得られるパターンが非等方的になるというものである。

BZ 反応のモデルとして等方性を回復することに成功した例は Markus と Hess によるものが知られている [1]。このモデルはある円の内側にランダムに付与された点を持つセルのみを近傍セルとして選択するという手法で等方性

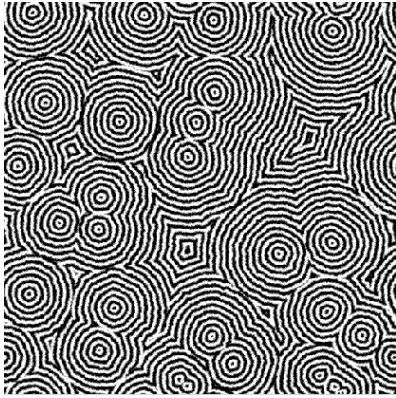


図1. 得られたターゲット・パターン

最初に本論文第2章において、BZ反応のパターンを再現するある等方CAを紹介する。モデルは2次元正方格子モデルで、用いた等方化の手法は、BZ反応を模した時間発展規則において出現するある閾値のパラメータに空間的なランダムネスを付与してやるというものである。導出したCAより得られた時間発展パターン(図1)は格子に依存することなく伝播し、等方性を回復することに成功した[2].

本論文第3章では等方的な時間発展パターンを生成するCAのより一般的な構成手法を紹介する。第2章で述べた等方化の手法は限られた系にのみ適用できるが、本章で紹介する等方CAの構成手法は反応拡散方程式で記述されるすべての系に対して適用可能である。

中心的な部分は、拡散の効果を粒子のランダム・ウォークとして定式化し、非線形相互作用による時間発展を離散ベクトル場によって表現した点である。この手法では、拡散係数その他のパラメータが自然な形で導入される。例としてこの手法をBZ反応に応用し、等方性の実現や時間発展パターンの適切なパラメータ依存性を実現した[3].

論文第4章では第3章で導出した手法をバクテリア・コロニーの成長パターンに応用することで、*Bacillus subtilis* および *Proteus mirabilis* と呼ばれるバクテリア族が形成するコ

を回復することに成功している。

しかし、モデルの等方性に焦点を当てた研究は著者の知る限りほとんど例は無く、是非この等方性の回復という問題に取り組みたいと考えた。本論文の主題はこの非等方性の問題を如何に解消し、現象を再現するCAモデルを構築するかである。本論文ではいくつかの導出した等方CAモデルとその応用を紹介する。

最初に本論文第2章において、BZ反応のパターンを再現するある等方CAを紹介する。モデルは2次元正方格子モデルで、用いた等方化の手法は、BZ反応を模した時間発展規則において出現するある閾値のパラメータに空間的なランダムネスを付与してやるというものである。導出したCAより得られた時間発展パターン(図1)は格子に依存することなく伝播し、等方性を回復することに成功した[2].

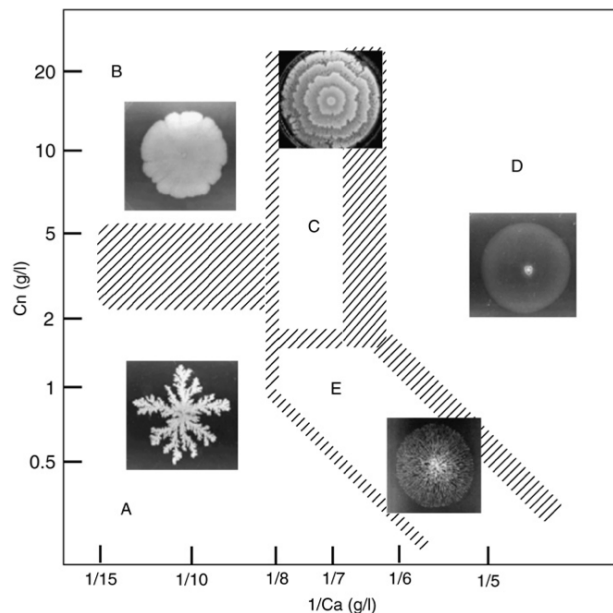


図2. *Bacillus subtilis* のモルフォロジー・ダイアグラム。横軸が培地の硬度、縦軸が栄養濃度。

ロニーの成長パターンを CA モデル化し、いくつかの実験結果との検証を試みた。*Bacillus subtilis* を寒天ゲル上で培養すると、培地の硬さと寒天の栄養濃度に応じてモルフォロジー・ダイアグラムと呼ばれる多様なパターン・ダイアグラムを形成することが知られている (図

2). 本章の目的の一つはこのモルフォロジー・ダイアグラムに見られるパターンを再現する CA モデルを構成することである. また中央大学のグループによる

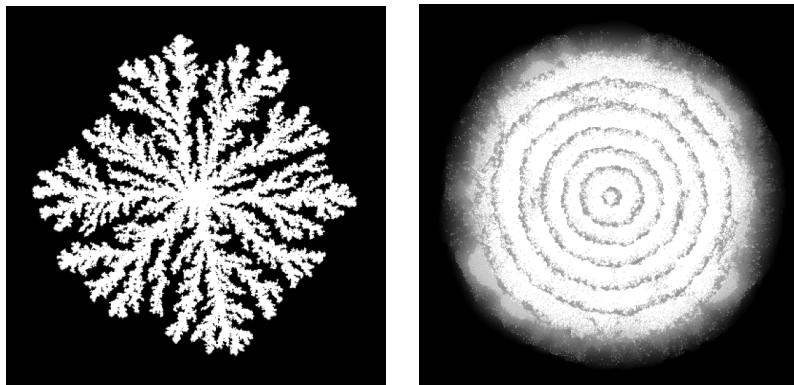


図 3. 得られた時間発展パターンの例.

*Bacillus subtilis* に

対するより詳細な複数の実験が行われている[4]. 本章では構成した CA を用いてこの詳細な実験結果の再現も試みた. 図 3 に構成した CA から得られた時間発展パターンの例を示す. 得られたパターンはその等方性のみならず, 図 2 のモルフォロジー・ダイアグラムに見られるものと類似のパターンを示す[5].

## References

- [1] M. Markus and B. Hess, Isotropic cellular automaton for modelling excitable media, Nature 347 (1990) 56.
- [2] A. Nishiyama, H. Tanaka and T. Tokihiro, An isotropic cellular automaton for excitable media, Physica A 387 (2008) 3129.
- [3] A. Nishiyama and T. Tokihiro, Construction of an isotropic cellular automaton for a reaction-diffusion equation by means of a random walk, submitted to Physica A.
- [4] H. Shimada, T. Ikeda, J. Wakita, H. Itoh, S. Kurosu, F. Hiramatsu, M. Nakat- suchi, Y. Yamazaki, T. Matsuyama, M. Matsushita, Dependence of local cell density on concentric ring colony formation by bacterial species *Bacillus subtilis*, J. Phys. Soc. Jpn. 73 (2004) 1082.
- [5] A. Nishiyama, T. Tokihiro, M. Badoual and B. Grammaticos, Modelling the morphology of migrating bacterial colonies, submitted to Physica D.