

ライフゲーム型セルオートマトンとそのグローバル空間構造

1M-7

堅田尚郁

西村治彦

katada@life.hyogo-u.ac.jp

haru@life.hyogo-u.ac.jp

兵庫教育大学

1 はじめに

複雑系に見られる全体的振舞いは、その構成要素間の相互作用の総体として出現するものである¹⁾が、当然、要素集団が存在する空間（環境）の構造にも大きく依存するものと考えられる。本研究では、複雑系の性質を有する単純な例として2次元セル・オートマトン(CA)のライフゲーム(Game of Life)に着目し、空間のグローバル(大域的)構造の違いが系全体の振舞いに与える影響について、コンピュータ上でのシミュレーションを通して検討する。

2 G-Lモデルと空間構造

一般に、周りからの入力と現在の自分の状態とによって次の時刻での自分の状態と出力が決まるシステムのことをオートマトンというが、それを格子(碁盤目)状に区切られたセル空間に配置したのがセル・オートマトン²⁾である。このCA(2次元)の有名な例としてG-Lモデル³⁾がある。これは、各々のセル(個体)が0(死)か1(生)の2状態をとり、次の時刻の状態が自分自身とその周囲8個(近傍セルと呼ぶ)に依存して変化する。今、時刻 t における (i, j) 番目のセルの状態を $s(i, j; t)$ 、その周りの8個のセル状態の総和を $sum(i, j; t)$ とすると、次の時刻の (i, j) 番目のセルの状態 $s(i, j; t+1)$ は

$$s(i, j; t+1) = f(s(i, j; t), sum(i, j; t))$$

で与えられる。ただし、 $f(s, sum)$ は $f(0, 3) = f(1, 2) = f(1, 3) = 1$ 、その他の場合は全て0である。このような各セルの状態遷移が近傍の影響のみで決まる規則をローカル(局所)ルールと呼ぶ。このルールが空間内のすべてのセルに同時に適用されることによ

¹⁾The Life Game cellular automata and the global structure of space

Naofumi Katada, Haruhiko Nishimura

Hyogo University of Education

942-1 Simokume, Yashiro-cho, Kato-gun, Hyogo 673-14, Japan

て、系の生物個数は時間とともに増減を繰り返す(図1)、創発的に全体の状相(configuration)を出現させ、自律的に終状態へと向かう。

G-Lモデルの空間については、通常無限に広い平面を前提とし、その空間のグローバル構造性の系への影響は無視されてきたが、現実の複雑系はすべて有限空間に存在していることを考慮すると、むしろ種々の有限空間内でのG-Lモデルの振舞いの検討が重要となる。ここでは、そのような空間として、端で吸収条件を持つ有界な平面(以後squareと呼ぶ)、ドーナツ面を成すトーラス(torus)及びトーラスにねじれを入れたねじれトーラス(twisted-torus)を導入する。

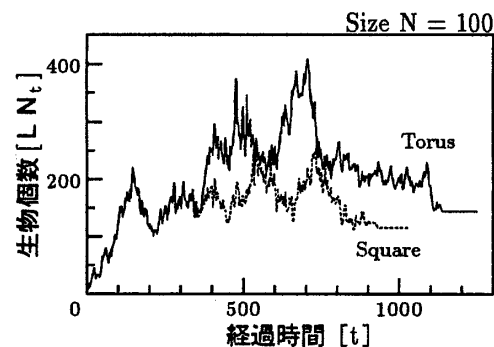


図1：生物個数の経時的変化

3 シミュレーションと実験結果

実際のシミュレーションでは $N \times N$ サイズのセル空間において、スクエア($N+1$ 番目のセル状態は常に0(死)という吸収条件)、トーラス($N+1$ 番目=1番目)及びねじれトーラス($(N+1, m)$ 番目= $(1, m+k)$ 番目のセル, k :ねじれ度)を設定した。また、初期状相のパターンとしてRペンタミノとランダムパターンの2通りを採用した。

図2,3は、初期状相Rペンタミノから出発した場合に全体の状相が最終平衡状態に達するまでの所要時間(T)とそのときの生物個体数(LN_T)について調べたものである。トーラス環境とスクエア環境ではそのグローバル構造の違いにより両者に大きな差が見受けられる。また、図3の右上の点線領域内に存在するトーラス環境の5例($N=93, 114, 115, 122, 142$)

に着目し、同サイズのスクエア環境下での終状態とその最終状相(生成物)について比較したのが図4である。最も小さい生成物(プリンカー)と同時に、構成個数の大きな生成物(ローフや池)がトーラス環境に

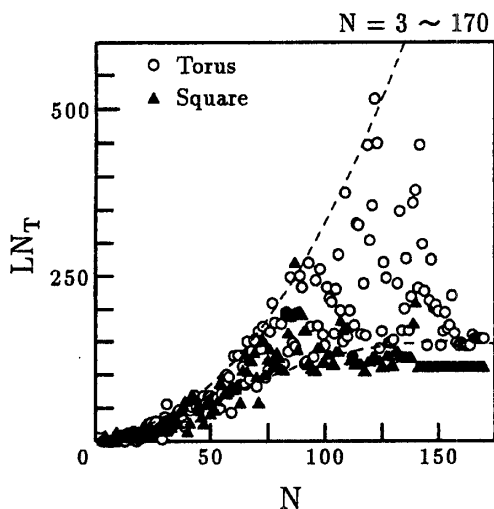


図2: 最終平衡状態時の LN_T の N 依存性

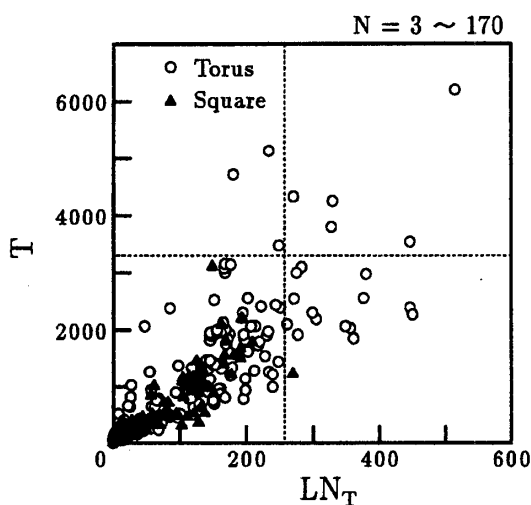


図3: 各サイズに対する LN_T - T 相関

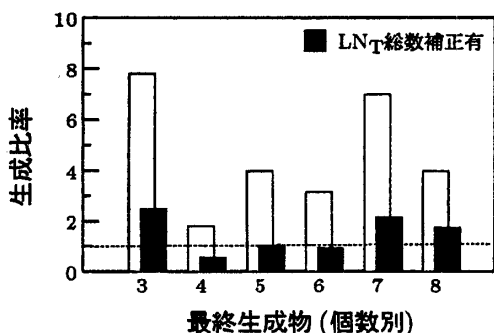


図4: 最終生成物(個数別)の比較比率(トーラス環境の場合/スクエア環境の場合)

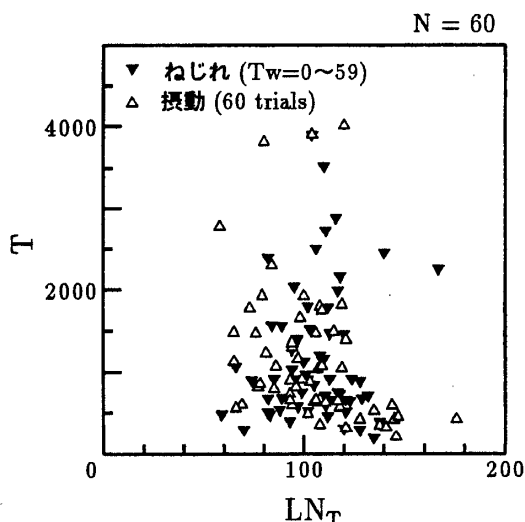


図5: ねじれと摂動に対する LN_T - T 相関

において出現しやすいことがわかる。

次に、 N を固定した場合のトーラス環境において、ねじれ (Tw) にともなう構造変化に対する (LN_T, T) の動きと初期状相に微少な摂動 (1組の0と1の入換) を加えたときの動きを示したものが図5である。初期状相は生物の分布密度が0.35のランダムパターンとした。ねじれによるグローバルな構造変化と微少な摂動による局所的な情報変化がもたらす最終状態時の LN_T - T 分布はどちらも同じ広がり傾向を示している。このことは系の (LN_T, T) の変化が環境のグローバルな性質の変化によるものなのか、個体集団内のローカルな状態変化によるものか区別できないということを示唆しており興味深い。

4 おわりに

以上、G-Lモデルにおいて系全体の振舞いは要素に対するローカルルールと環境のグローバル構造条件の両者によって大きく左右されることが確認された。ここでのローカル情報(個体)とグローバル情報(環境)の相互作用の問題は、現在取組まれている人工生命(AL)の研究においても重要な課題である。

参考文献

- 1) ロジャー・リュウイン: 複雑性の科学: コンプレクシティへの招待 (福田素子 訳), 徳間書店 (1993).
- 2) S. Wolfram, ed., Theory and Application of Cellular Automata, World Scientific (1986).
- 3) ウィリアム・パウンドストーン: ライフゲームの宇宙 (有澤 誠 訳), 日本評論社 (1990).