

F-030

セルオートマトンにおけるウルフラムクラスの自動判別

Automatic Classification of Wolfram Classes
in the Cellular Automata

金子 純 田中 美栄子*

Jun Kaneko Mieko Tanaka

鳥取大学大学院 工学研究科 知能情報工学専攻

*鳥取大学 工学部 知能情報工学科

1 序論

1.1 はじめに

セルオートマトンは1940年代末に生物の自己複製機能を模擬するために、ウラムとノイマンによって提案された自動機械による自己複製のモデルである。1980年代半ば、イギリスのウルフラムは1次元のセルオートマトンを時間発展の仕方から定性的に「クラス1」から「クラス4」に分けた[1]。この分類を“ウルフラムクラス”という。

1.2 本研究の目的

ウルフラムクラスの自動判別において最も重要となるのが「クラス3」と「クラス4」の判別である。

この判別を行う方法は既に数多く提案されているが、時系列フラクタル解析の手法を用いた方法[2]や、エントロピーを用いた方法[3]など、非常に複雑な手法が多い。そこでより単純な指標を用いて「クラス3」と「クラス4」の判別が出来ないか、と考えた。本研究はセルオートマトンにおいて「クラス3」と「クラス4」の自動判別に用いることの出来る単純な指標の提案を目的とするものである。

2 セルオートマトンとウルフラムクラス

2.1 セルオートマトン

セルは「細胞」のモデルであり、オートマトンは「自動機械」の事である。「細胞」を用いた「自動機械」を“状態とその遷移”という考え方で解釈する事がセルオートマトンの本質であると考えられる。

セルオートマトンのルールは「着目したセルを含む近傍の状態」と「着目したセルの次の状態」の組み合わせである。今、2状態、3近傍、1次元の場合を例に考えてみる。1つのセルが2状態をとるの

で、3近傍の状態は、2の3乗通り、すなわち8通りである。当然「着目したセルの次の状態」も2状態をとるので2の8乗、すなわち256通りのルールが存在する。これらに0から255までの番号を振り、これをルール番号とする。初期状態にどのルールを適用するかでセルオートマトンの振る舞いが決まる。

2.2 ウルフラムクラス

「クラス1」と「クラス2」は“秩序”状態である。「クラス1」は全セルの状態が「0」または「1」となりその後全く変化しなくなる。「クラス2」はセルの状態が定常的、もしくは周期的となる。

「クラス3」は“カオス”状態に当たる。セル全体が法則性無くランダムな時間発展を繰り返す。

「クラス4」はウルフラムクラスの中で最も複雑度が高く、その出現頻度は低い。「クラス4」の特徴に関しては、「局所的にランダムな時間発展が起きる」、「自発的な組織化が起きる」など様々な表現があるが、要するに“秩序”状態と“カオス”状態の両方の特徴を併せ持った状態であると言える。それ故に「クラス4」は“カオスの縁”と呼ばれている。

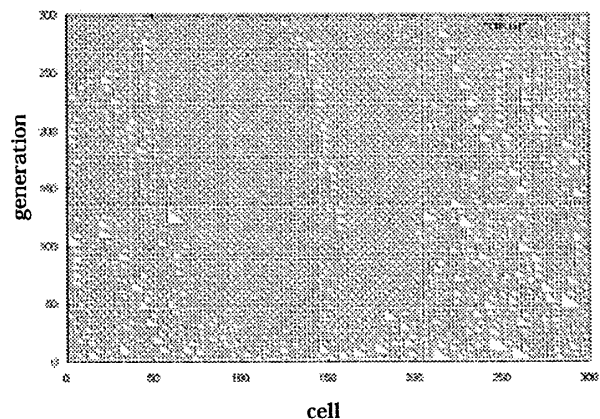


図3 . クラス4 (ルール番号110)

3 実験方法

本研究では「クラス3」と「クラス4」を自動判別する為の指標として“3近傍の状態の出現頻度”を提案する. 特定の3近傍の状態が出現する頻度が, セルオートマトンの“見た目”と何かしら関係があると考えたからである. i をセル番号, S_i をセル i の状態とすると, セル i を中心とした全世代の3近傍中に状態 $X = (S_{i-1}, S_i, S_{i+1})$ が出現する頻度 (回数) を表したものを $Y_i(X)$ とする.

あらかじめウルフラムクラスが判明しているルールについて, $Y_i(X)$ を求めた結果を以下の図 4(a), 図 4(b)に示す.

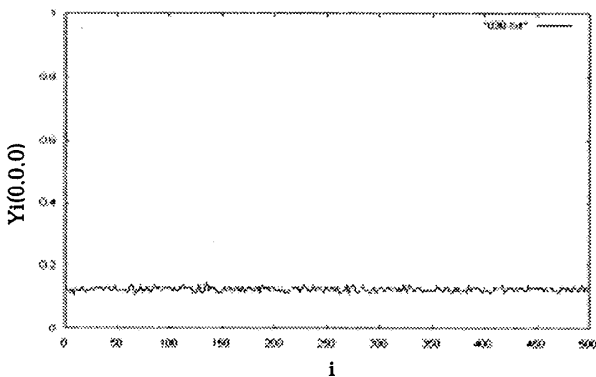


図 4 (a). 「クラス3」における
状態(0,0,0)の出現頻度 (ルール番号 30)

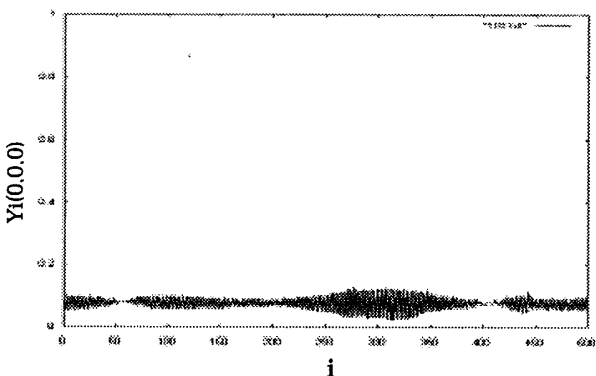


図 4 (b). 「クラス4」における
状態(0,0,0)の出現頻度 (ルール番号 110)

「クラス3」に比べて「クラス4」の方が高周波数成分を多く含んだ波形である事が分かる. この特徴を利用して, 以下の手順で「クラス3」と「クラス4」の判別を試みる事とした.

1. 目的のセルオートマトンについて $Y_i(X)$ を求める
2. 1. の結果をフーリエ変換し高周波成分に一定のピークが見られたものを「クラス4」, そうでないものを「クラス3」とする

4 実験結果

500個のセルを1000世代変化させたセルオートマトンを用い, セルの初期状態を100通りの乱数列として実験を行った.

ルール番号別に自動判別を行った結果, 全体の約8割のルールについて正答率は100%となり, 最も正答率が低いもので72%であった. 8種類全ての3近傍の状態を用いて実験を試みたが, 最低正答率は72~75%と大きな差は見られなかった.

5 結論

本研究ではセルオートマトンにおける「クラス3」と「クラス4」の自動判別に用いる事の出来るより単純な指標の提案を目的として実験を進めてきた. その結果, 「近傍状態の出現頻度である, 系列 $Y_i(X)$ の周波数特性」が指標として有効である事を示す事が出来た.

今後の課題として, 他の指標との比較や状態数, 近傍数を変化させたときの有効性の検討を行う予定である.

参考文献

- [1] S. Wolfram, “Universality and Complexity in Cellular Automata”, *Physica D* vol.10 (1984) 1–35
- [2] 西村治彦, 新地辰郎, “1次元セルオートマトンの時系列フラクタル解析”, *情報処理学論文誌* Vol.36 (1995)
- [3] Mieko Tanaka-Yamawaki, Sachiko Kitamikado, Toshio Fukuda, “Consensus formation and the cellular automata”, *Robotics and Autonomous Systems* 19 (1996) 15–22