

1/f ゆらぎにもとづく 2次元 3状態 万能セルオートマトンの探索

蜷川 繁

金沢工業大学 情報学部 情報工学科

〒 924-0838 石川県白山市八束穂 3-1

e-mail: ninagawa@infor.kanazawa-it.ac.jp

1 はじめに

計算万能であることが証明されているセルオートマトンのライフゲーム [1] や単純セルオートマトンのルール 110 [2] は、いっぽうで 1/f ゆらぎを示すことが知られている [3, 4] . このことから計算万能性と 1/f ゆらぎの間には何らかの関連性があるのではないかと予想されることから、2次元 3状態 9近傍 CA において、1/f ゆらぎを示すルールを遺伝的アルゴリズムを用いて探索した [5] . 本論文では得られたセルオートマトンの振舞いを調べ、計算万能性の可能性を探る .

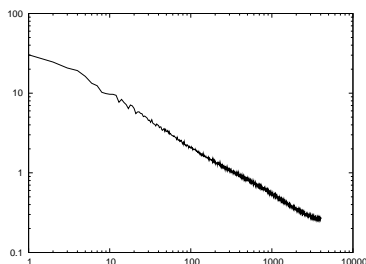


図 1: 実験で得られたルールのパワースペクトル .

2 実験で得られたルール

本研究で対象となる 2次元 3状態 9近傍セルオートマトンの遷移関数 d は次式で表現される .

$$x_i = d(c, n_1, n_2), \quad i = 45c + n_1(19 - n_1)/2 + n_2.$$

ここで $c \in \{0, 1, 2\}$ は近傍の中心セルの状態, n_1, n_2 は周囲 8 セルのうち、それぞれ、状態が 1, 2 のセル数を表し, $x_i \in \{0, 1, 2\}$ は中心セルの次ステップでの状態を示す . 本研究では $d(0, 0, 0) = 0$ という遷移規則のみを対象とするので、遷移規則は 134 桁の 3進数 $x_{134} \cdots x_1$ で表現される . 文献 [5] で述べた実験によ

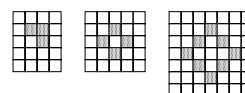


図 2: 固定パターン . 白は状態 0, 黒は状態 1, グレイは状態 2 のセルを表わす .

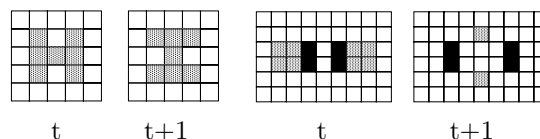


図 3: 2種類の周期 2 のパターン .

て得られたルールのうち、もっとも計算万能性の可能性があるとと思われるルールは 134 桁の 3進数で次のように表わされる .

```
0222222110110002112002101201102220
1022201021020100102010022001002212
1002221211002212212112201100200221
01010010021210120222000002220000
```

このルールのパワースペクトルを図 1 に示す . $f = 1 \sim 400$ の範囲で最小自乗法で $\ln(S_f) = \alpha + \beta \ln(f)$ に当てはめると $\beta = -0.535$ となる .

3 種々のパターン

本ルールに存在する固定パターンを図 2 に示す . なお、ダイヤモンド型の固定パターンは小さいものから順に 2 つまで表示しているが、これら以外に任意の大きさのものが可能である .

周期 2 のパターンの主なものを図 3 に、グライダーを図 4 に示す . 図 5 はイーターとよばれる固定パター

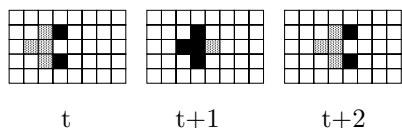


図 4: グライダー

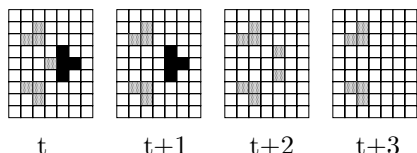


図 5: イーターがグリダを吸収する様子 .

ンにグリダが衝突し、グリダが消滅する様子を示す .

右から飛来したグリダと周期 2 の周期パターンの衝突によってイーターが生成される様子を図 6 に示す .

周期 6 の周期パターンの 1 つを図 7 に示す .

右から飛来したグリダと固定パターンの衝突の様子を図 8 に示す . この衝突によって固定パターンが 2 セルだけ下へずれる .

4 おわりに

本研究で得られたルールにおいて、固定パターン、周期パターン、グリダ、イーターが存在し、それらの間の相互作用を調べた . 今後は、これらのパターンを使って、論理回路が構成できるかどうか調べる予定である .

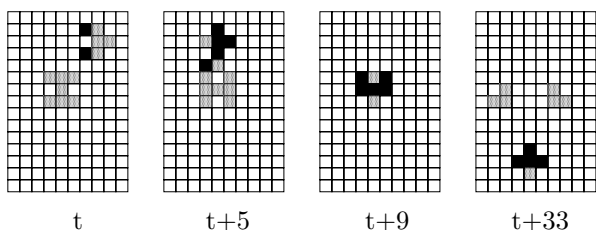


図 6: 周期 2 のパターンとグリダの衝突によってイーターが生成される過程 .

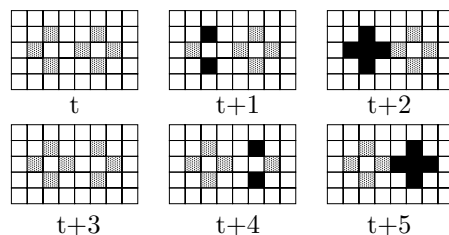


図 7: 周期 6 のパターン .

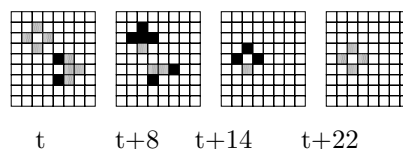


図 8: 右から飛来したグリダと固定パターンの衝突の様子 .

5 謝辞

本研究は科研費 (20500216) の助成を受けたものである .

参考文献

- [1] E.R. Berlekamp, J. H. Conway, R. K. Guy: Winning Ways for Your Mathematical Plays, Vol.2, Academic Press, New York (1982).
- [2] M. Cook: Universality in Elementary Cellular Automata. Complex Systems **15** (2004) 1–40.
- [3] Ninagawa, S., Yoneda, M., Hirose, S.: $1/f$ Fluctuation in the "Game of Life". Physica D **118** (1988) 49–52.
- [4] S. Ninagawa: Power Spectral Analysis of Elementary Cellular Automata. Complex Systems **17** (2008) 399–411.
- [5] 蜷川繁: $1/f$ ゆらぎにもとづく 2 次元セルオートマトンの探索, 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会講演論文集. (2010)