アバランシュゲームの提案と特徴解析

2S−10　　長谷川 康雄† 　西野 順二† 　小高 知宏† 　小倉 久和†
福井大学工学部

1 はじめに

複雑系とは，一つ一つは簡単な法則に従って動く要素が多数集まったとき，全体として複雑な挙動を示す系である．それらの中に，臨界挙動を示すアバランシュモデル [1] やパーコレーションモデルがある．パーコレーションモデルの振舞は，初期条件に強く依存しており臨界点近傍においてはフラクタル性が成立するが，その他の点ではフラクタル性はみられない．これとは対照的に，アバランシュモデルでは，初期条件のいかんにかかわらず系は平衡状態に向かって自然に発達する．このような意味でアバランシュモデルは自己組織的である．

本稿では，自己組織的性質をもつアバランシュモデルを用いたゲームを定義し，そのゲームに勝つための戦略と，ゲームの特性について述べる．

2 アバランシュモデル

アバランシュモデルは、局所的に相互作用する離散的な力学系で，セル・オートマトンを用いている．ダイナミクスとしては、セルの状態変数 z があるしきい値 T に達すると、信号が隣接するセルへと伝えられる．大きさ $L*L$ の二次元正方格子上で全てのセル (i,j), $(0\leq i\leq L, 0\leq j\leq L)$ について状態変数 z を定義する．動作は以下の式により定義される．

条件 $z_t(i,j)\geq 4$

$$\left.\begin{aligned} z_{t+1}(i,j) &= z_t(i,j)-4 \\ z_{t+1}(i,j+1) &= z_t(i,j+1)+1 \\ z_{t+1}(i,j-1) &= z_t(i,j-1)+1 \\ z_{t+1}(i+1,j) &= z_t(i+1,j)+1 \\ z_{t+1}(i-1,j) &= z_t(i-1,j)+1 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

この場合しきい値 $T=4$ である．$z(i,j)\geq 4$ となったとき，z の値は減少しその周囲のセルの z の値がそれぞれ 1 づつ増やされる．このことを「スライドする」と呼ぶ．$i,j\geq 0$ 及び $i,j\leq L$ の外では常に $z=0$ となる．

$z\geq 3$ のセルが隣接している時，「スライド」はドミノ倒しの様にセルからセルへと伝わっていく．この一連の崩壊過程を「アバランシュ」と呼ぶ．値 z をブロックの個数とすると，スライドの様子は図 1 のように表される．

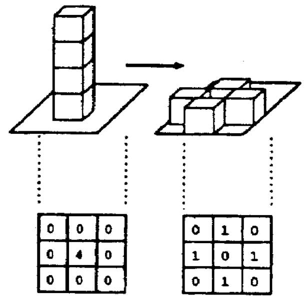

図 1: スライド

コンピュータシミュレーションによりアバランシュの構造を表すパラメータ，アバランシュ継続時間 T_c, アバランシュサイズ S_a, クラスターサイズ S_c などに関してモデルの挙動を解析した．ここで，アバランシュ継続時間 T_a とは，ドミノ効果の持続時間である．また，アバランシュサイズ S_a とは起きたスライドののべ数であり，クラスターサイズ S_c とはスライドを起こしたセルののべ数である．

3 アバランシュゲーム

ここではアバランシュモデルに基づくゲームを定義する．

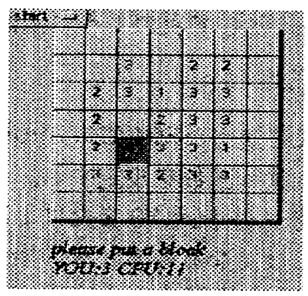

図 2: ゲームの様子

ゲームとして，二者が盤面のセルに交互に 1 つづつブロックを置いていくことを考える．今後，この盤面をフィールドと呼ぶことにする．セル (i,j) にのっているブロックの個数を $z(i,j)$ で表して，そのダイナミクスを式 (1) で定義する．勝敗の決定はブロックを置いた時に起きたアバランシュ継続時間の合計やフィールドから落ちたブロックの合計などの基準によりおこなう．ゲーム開始時，フィールドの各々のセルには 0 から 3 個のブロックがランダムに置かれている．図はゲームの様子を表している．各セルの値 1 から 3(0 は無表示) が表示されており，図の下部に

The study of the behavior of avalanche game.
Yasuo Hasegawa, Junji Nishino, Tomohiro Odaka and Hisakazu Ogura
Faculty of Engineering, Fukui University
3-9-1 Bunkyou, Fukui 910, Japan

は得点が表示されている．

プレーヤーは高得点を得ることを目指し，フィールドにブロックを１つ置き，次にもう一方のプレーヤーが同じようにブロックを置く．このような手順で，プレーヤーそれぞれの手持ちのブロックが無くなるまで交互に置くことを繰り返す．

プレーヤーがあるセルにブロックを１つ置いた時，その結果としてスライドが連鎖的に起きフィールドの安定状態に達するまで次々と繰り返し状態変化が起きる．このフィールドの連続的な状態変化は，複雑系としての性質を持ちゲームの展開を予測困難なものにしている．この点がアバランシュゲームの特性であるといえる．

4 アバランシュゲームの基本性質

アバランシュゲームの基本的な性質と，その戦略との関係について調べるためシミュレーションを行った．シミュレーションの条件は以下の通りである．

フィールドサイズ:10 × 10,
加えるブロック数:1000 個,
初期状態:$z(i,j)=0(0\leq i,j\leq L)$,
ブロックの置き方:ランダム．

4.1 アバランシュサイズ S_a とクラスターサイズ S_c

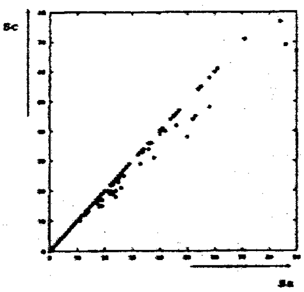

図 3: S_a と S_c の関係

グラフより S_a が大きな時程,1 セルで複数回スライドが起こる傾向が顕著であることがわかる．つまりスライドを起こしたセル数が小さい場合に比べスライドを起こしたセル数が大きい場合の方が，スライドを起こしたセルが再びスライドを起こす可能性が高く，多くのスライドが起こる可能性があるということである．

これより，ゲームでは小さなアバランシュを起こすより大きなアバランシュを起こした方が効率よく得点を得られることを確認した．

4.2 飽和状態のフィールド上のブロック数

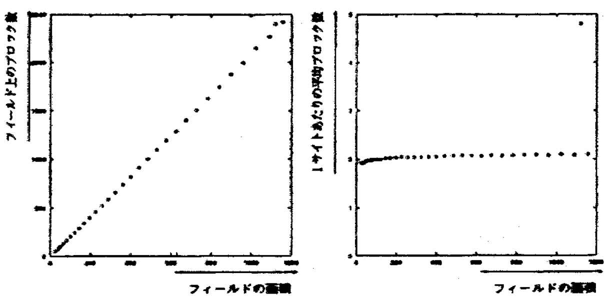

図 4: フィールドの面積とフィールド上のブロック数の関係

ブロック 1000 個を置いた飽和状態のフィールドの大きさとブロック数について調べた．

飽和状態での 1 セルあたりのブロックの平均個数は,1.9 から 2.1 まで推移している．

グラフより，十分にフィールドにブロックをおいた後にはフィールド上のブロック数はある範囲で変動するが，その平均はほぼ一定となることがわかる．

5 まとめと今後の課題

シミュレーションにより，飽和状態のフィールドでは 1 セルあたり平均 2 個のブロックが積まれていること，積まれているブロックに関して分類したセル数の分布はそれぞれ一定値になっていることが明らかになった．これは飽和状態のフィールドはある範囲内で多様に変化しながら平衡状態近傍でゆらぐという自己組織的性質の表れであるといえる．

またゲームでは，モデルの各パラメーターが示す値を参考に，適度な大きさ，例えばフィールドサイズ 10 × 10 の場合 S_a=20 から 30 のアバランシュを狙うとよいといえる．

今後は，シミュレーションで得られた結果をいかしコンピューターブレイヤー対人間で競い合うゲームを構成し，有効な戦略とモデルの挙動の特性について調べる予定である．

参考文献

[1] 大月 俊也:「アバランシュモデルのシミュレーション」, NETWORK.Vol5.No3(福井大学情報処理センターニュース).

[2] 長谷川 康雄・西野 順二・小高 知宏・小倉 久和:「アバランシュゲーム」, 第 6 回日本ファジィ学会北信越支部 ファジィシンポジウム講演論文集, pp.59-62,1997.