

Improvement on sand-pile / avalanche model in cellular automaton system

高丸 尚教

Hisanori Takamaru

1. 目的

自己無撞着な構造形成過程を追求する自己組織化研究は、動的な構造創成と崩壊過程の微妙なバランスの上に成り立っている。太陽内で繰り返されるプラズマ荷電粒子系での構造形成[1]や、セルオートマトンのような単純なルールの下での構造形成まで多種多様な領域で自己組織化過程が現れる。

本研究では、開放系多粒子群が作り出す砂山生成過程で知られる BTW(Bak-Tang-Wiesenfeld) モデル[2]に代表されるセルオートマトンによる自己組織化過程を研究する。

説明のために横軸に沿って直線状に配置された空間を考え、積み木(セル)を縦軸に沿って投下することを考える(図1)

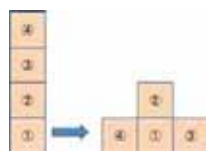


図1:セル投下の基本モデル

このモデルは、CGにおける簡易降り積もりモデルとして良く知られている。①のセルは、③及び④のセルに囲まれているので②と①の間に基準線を設けることで①の上に4つセルが載ると図1の過程を繰り返すモデルになっている。この簡易モデルは、③と④のセルとで左右に分かれる動作をしており、ちょうど水平方向の運動量保存則を満たす。このため、投下するセル数を増やしていても、必ず①を中心とした左右対称の図形を描く。その意味で砂山形成過程を最も簡便に表現したセルオートマトンとして知られており、自己組織化臨海とのつながりについて数多くの研究がされて

いる。

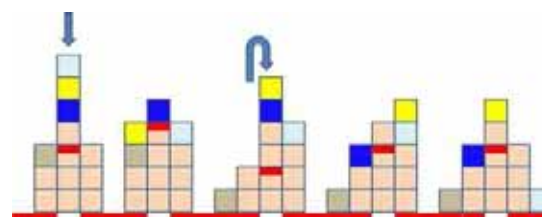


図2:既存モデルで13個目のセル投下時の構造形成過程

図2に示すように、13個目のセルを投下する(図2左)と、図2の右の最終形が得られる。ところが、左から3つ目の様子が示すように、左肩に位置した黄色いセルが、移動する際に水平方向の運動量は保持しているものの、物理的にはあり得ない垂直方向運動をしていることが容易にわかる。セル投下直後と最終形だけを見ればきれいに左右対称の砂山ができていたため、これまで見過ごされていた遷移過程である。

本研究では、どの遷移過程でも物理的に不都合がなく、最も処理過程が少ないセルオートマトン・モデル構築をめざす。

2. 提案モデル

二つのモデルを導入し、既存モデルと比較する。
モデル1(散逸型 dissipative model)

- 1) 図2で示す赤の基準線から上に積みあがっているセル数を数える
- 2) 基準線からの積み上がりセル数の最大値が4以上であるとき、左優先で処理すべきセルの水平位置を決定(i番目とする)
- 3) $i, i+1$ 番目を比較し、 $i+1$ 番目の最高値が*i*番目のそれを上回っていた場合は当該セルは $i+1$ の

セル群が壁となって跳ね返したと解釈して、 $i-1$ 番目側に移動を試みる。低ければ、そのまま移動

4) $i-1$ 番目の位置に対して上記 3) の過程で左右を逆にして判定し動作させる。

モデル 2 (膠着型 agglutinated)

このモデルでは、モデル 1 の 1), 2) までは同じで 3) から次のように考える。

3) $i, i+1$ 番目を比較し、 $i+1$ 番目の最高値が i 番目のそれを上回っていた場合は当該セルは $i+1$ のセル群が壁となって、 i 番目のセル群を膠着させる。

モデル 1 とモデル 2 の違いは、自身のセルより高く壁の役割をする隣のセル群が、移動しようとするセルの運動に対して完全弾性衝突ではね返す壁となるもの(モデル 1)と、完全非弾性衝突で膠着するもの(モデル 2)となっていることである。

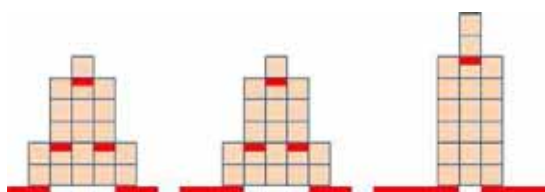


図 3 : 左から既存、散逸、膠着モデルで水平面に 20 セル投下後の構造

図 3 には、水平面上で 1 点から 20 個のセルを投下し続けた後のセル構造を示す。左から、既存モデル、散逸モデル、膠着モデルである。膠着モデルでは 3 セル幅の柱状となるだけで、砂山は形成されない。既存、散逸両モデルでは、形成過程を無視すれば同じ結果を得る。散逸モデルでは非物理的な遷移過程は発生しない。

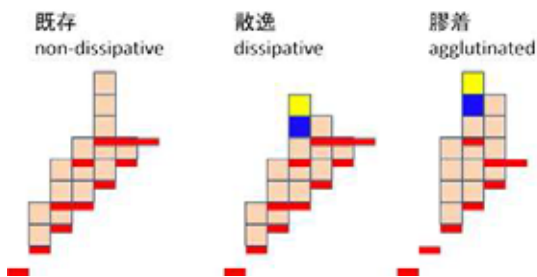


図 4 : 階段状の床に 14 個のセルを投下後の形状

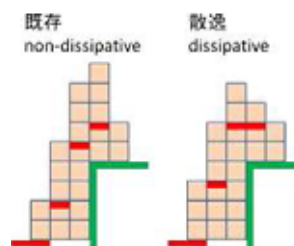


図 5 : 崖状の境界面近傍での構造

図 4 及び図 5 には、固定境界面を変えた場合の構造形成を示した。

以上より、既存モデルと比較して、遷移過程を含む構造形成過程において自己無同着に時間発展させるセルオートマトン・モデルとして、散逸型モデルが最も優れていることを示した。また、このモデルを導入した 3 次元の挙動解析プログラムを構築した。

参考文献

[1] H.Takamaru and T.Sato, Phys. Plasmas 4, 2845 (1997)
 [2] P.Bak, C.Tang, and K. Wiesenfeld, Phys. Rev. Lett., vol.59(4), pp.381-384 (1987)

高丸 尚教
 ロボット理工学科 教授
 専門：シミュレーション科学