砂山形成過程におけるゆらぎのダイナミクス

Dynamics of Fluctuation in Formation Process of a Sandpile

1. 研究の背景と目的

砂山のダイナミクスについてさまざまな実験が行われており、砂山上のなだれの規模の分布なども実験室において測定されている。砂山の数理モデルとしてはBakらのSandpile Modelにおいて砂山のサイズ分布のパワースペクトルがべき的になることが知られており、SOCのモデルとしても注目を集めた。

本論文ではなだれを含む砂山形成過程のダイナミクスに着目し、形成過程の特徴を表す量として頂点位置の変動に焦点を絞り、離散要素法を用いて砂山形成過程のゆらぎを調べるために頂点の時系列のパワースペクトルを測定した。

2. 主な研究成果

砂山の上空から1粒子ごと時間間隔 T で供給し続けることによって形成過程を実現した。頂点位置の時系列のパワースペクトル $S(f)$ はべき的になり、べきの指数 α は T に依存する。 T が小さいときには、粒子の供給量が多いために砂山表面は流動状態を維持する。このとき $S(f) \sim 1/f$ となり、時系列は特徴的時間を持たない。逆に T がなだれの継続時間より大きいとき、間欠的に発生するなだれを除いて砂山表面は長時間固体的状態をたもち、 α は T が大きくなるにつれて -2 に近づく傾向がみられた。 T がこれらの中間の領域では T が変化しても α は近似的に一定値をとるといふ現象が現れた。

占部千由 (Chiyo Urabe)

京都大学基礎物理学研究所

(〒606-8502 京都市左京区北白川追分町) TEL 075-753-7055
Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University
(Oiwake-cho Kitashirakawa Sakyou-ku, Kyoto 606-8502, Japan)

< 著者紹介 >

1998年奈良女子大学理学部卒、2006年3月京都大学 人間・環境学博士、同年4月より京都大学基礎物理学研究所非常勤講師
専門：非平衡統計力学

T が小さいときにはなだれによる頂点の移動が支配的となるため、なだれと頂点移動の関係から $S(f)$ が $1/f$ 的になる原因を調査した。2次元・3次元の砂山でなだれの向きの時間変化を粒子の運動エネルギーや運動量を用いてそれぞれ測定した。シミュレーションの結果からなだれの方向は時間的に変化し、なだれの方向と頂点位置の間に相関があり、それらのパワースペクトルはべき的であり、長い時間スケールでは同じ指数を示すことがわかった。

2次元の砂山の場合には、なだれの方向は右左の2値で表される。2値化された時系列については巾関数で表される待ち時間分布と時系列のパワースペクトルの関係が解析的に求められており、本研究においても近似的に同様の関係が確認された。

3. 今後の展開

取り扱う系が大きくなるほどなだれで流される粒子数は多くなり、その方向の時間的変化は防災上重要な問題となる。今後、待ち時間分布が巾的になる原因をシミュレーションと理論の両面から究明したい。

最後に本研究の遂行にあたり、京都大学の富田博之先生と早川尚男先生に常にご指導をいただいたことに心より感謝申し上げます。京都大学吉田南構内非平衡物理グループの皆様には惜しみないご協力をいただいたことを感謝いたします。

文献リスト

- 1) 占部千由: “砂山形成過程における頂点移動のダイナミクス”, 複雑流体の構造形成と崩壊の数理 (Mathematical Aspects of Pattern Formation in Complex Fluids) RIMS 研究集会報告集, 数理解析研究所講義録, **1413**, 70-74 (2005)
- 2) Urabe, C.: “Dynamics of Fluctuation of the Top Location of a Sandpile”, *Journal of the Physical Society of Japan*, **74**, 2475-2479 (2005)
- 3) 占部千由: “砂山形成過程における頂点移動のダイナミクスII”, 複雑流体の数理とその応用 (Mathematical Aspects of Complex Fluids and Their Applications) RIMS 研究集会報告集, 数理解析研究所講義録, **1472**, 71-80 (2006)

(学位取得は2006年3月, 京都大学)