

砂山崩しの実験 SOCと固有地震

A sandpile experiment --- Self-organized criticality and characteristic earthquake

吉岡 直人[1]

Naoto Yoshioka[1]

[1] 横浜市大・理

[1] Faculty Sci., Yokohama City Univ.

砂山崩しの実験を行なった。砂山の受け皿として、4, 5, 8 cmのディスクを用いた。砂をディスクの上にゆっくりと落とし、砂山を形成し、ナダレを発生させる。ナダレの発生のしかたに与える要因は、たとえば砂の流量、砂の落下速度、最終出口の径などがあるが、最も大きな要因はディスクの径である。小さいディスクではナダレの大きさ分布はグーテンベルグ・リヒター則に従い、冪分布となる(SOC)。これに対して大きいディスクの場合は、かなり大きな規模のナダレが周期的に発生し(固有地震的)、その分布は冪分布にはならない。このメカニズムを解明することは、SOCと固有地震の違いを考える上で示唆的であると思われる。

1. はじめに

Bak, Tang, and Wiesenfeld (Phys. Rev. Lett., 1987)以来、地震の起こり方、とくにグーテンベルグ・リヒター則(G-R則)が示す冪分布は自己組織化臨界現象(SOC)の典型的な一例であるとされてきた。一方、(巨)大地震については、同じ場所ではほぼ同じ規模の地震が周期的に繰り返し発生することが指摘され、固有地震(characteristic earthquake)と呼ばれている(Schwartz and Coppersmith, JGR, 1984)。これはG-R則の冪分布には従わないことが示されている。われわれはSOCのモデルとなっている砂山崩しの実験(セルラーオートマトン・モデルによるシミュレーションではなく、実際に砂で砂山を形成する室内実験)を行い、発生するナダレの規模・頻度分布が本当に冪乗則に従うのか、を検証した。

2. 実験方法

円形のディスクの上に砂(海岸の砂)をゆっくりと静かに落す。砂は水洗いしたあと自然乾燥させたものである。砂の直径は0.5~1.0mmの範囲のものをフルイによって選別したものをを用いた。砂を受けるディスクとして、直径4, 5, 8 cmの3種類のものを用意した。ディスクの上にたまった砂の量を電子秤で1 mgの精度で測定し、2.5Hzのサンプリング間隔でパソコンにデータを取り込んだ。

砂は円錐形の山を形成し、安息角で斜面を形成する。さらに砂を加えると、ナダレが発生し、ディスクからこぼれ落ちる。これによるディスク上の砂の重量変化を分析した。発生するナダレの大きさやその頻度に影響を与える可能性のある因子として、砂の流量、砂の速度、砂の出口の径の大きさ、湿度、ディスクの径などを考慮した。

3. 結果

発生したナダレによる砂の量の変化はさまざまなパターンを示した。このパターンは以下の2つに大別される。A. 小さなナダレが常に発生し、全体の砂の重さはゆっくりと揺らぎながら準定常性を示すもの。ナダレの規模・頻度分布は冪乗則に従う。B. かなり大規模なナダレが周期的に発生し、規模・頻度分布は冪乗則に従わないもの。もちろんこの中間的な場合も存在する。

上に述べた要因のうち、砂の流量、砂の速度、砂の出口の径の大きさ、湿度はこのパターンに影響を与えるようであるが、さほど大きなものではない。最も大きな影響は、ディスクの直径である。すなわち、ディスクの径が小さい場合(4 cm)は、Aの傾向が顕著であり、それが大きい場合(8 cm)はBの傾向が顕著であった。

4. 考察

Aのパターンは、セルラーオートマトンの数値シミュレーションで示されるような、典型的なSOCに対応すると考えられる。これに対し、Bの現象は固有地震に似て規模もそろっており、周期性も揺らぎはあるもののかなり正確である。

ディスクの大きさの違いによるナダレのパターン変化については、すでにHeld et al. (Phys. Rev. Lett., 1990)の精密な実験の結果として報告されている。彼らもわれわれの観察と同様の振る舞いを観察している。Nagel (Rev. Mod. Phys., 1992)は第1種の相転移現象として大きなナダレの現象を説明しているが、われわれの観測に合わない部分もあるように見受けられる。

ここで強調しておきたいことは、小さいディスクであっても大きいディスクであっても、安息角が一定であるので、できる砂山の形は相似形であるにも拘わらず発生するナダレの最大規模は、その相似比とはなっておらず、現象AからBへの変化はドラスティックに起こっているように見える、ということである。SOCの典型的な例と

考えられてきたサイスミシティーであるが、固有地震を考慮すると、砂山崩しに現れる
2つのパターンのメカニズムの違いを考えることは地震学にとって重要であると思われる。