

砂山形成過程における頂点位置のダイナミクス

京都大学 人間・環境学研究科 占部 千由*1

砂山の形成条件と頂点位置の時間発展との関係を離散要素法 (DEM) を用いて調べた。頂点位置の時系列のパワースペクトルをとると粒子の落下条件の違いにより減衰の巾に差が現れた。頂点位置の移動は雪崩・粒子の堆積を大きく反映する量であり、砂山の形成過程を特徴づける量として考えられる。

本研究では2次元の DEM を使い、粒子を一定の落下条件のもとで一粒ずつ落とし砂山を成長させる。砂山は有限の大きさを持つ床の上に作り、堆積すると床の端から粒子がこぼれ落ちるように設定し、砂山の大きさはほとんど変化しない状況を考える。ここで、頂点位置は図 1(左) のように決める。砂山を構成する粒子の中で、ある時刻 t に最も高い位置にある粒子を頂点とし、その粒子の重心の x 座標 $x_{top}(t)$ を測定する。

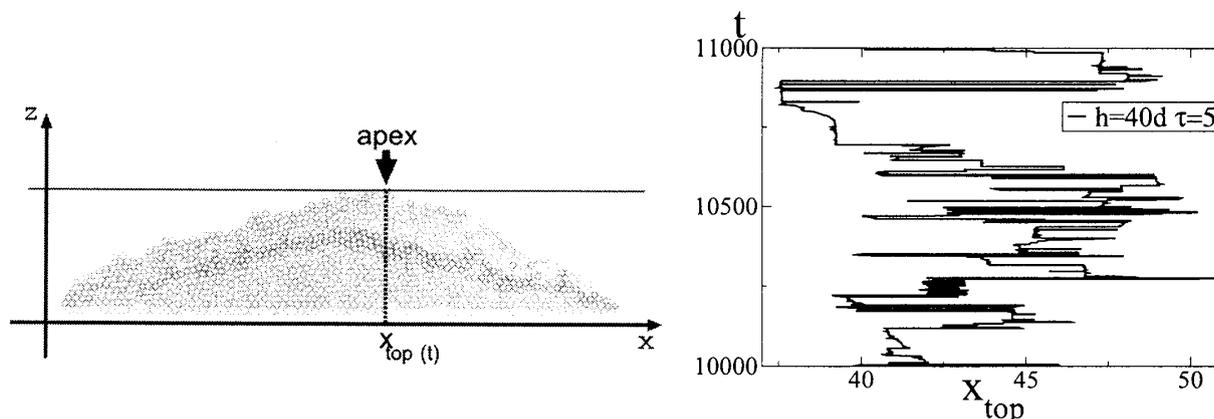


図 1: (左) DEM による砂山。(右) 頂点位置 x_{top} の時系列の例、粒子の落下条件は粒子直径を d とし、砂山頂点から高さ $h = 40d$ 上空から時間間隔 $\tau = 5$ で落とす。

粒子を落下させる条件としては、頂点からの高さ h から時間間隔 τ で落下させるとし、二つのパラメータ h, τ に着目する。頂点位置の時系列の例を図 1(右) に示す。頂点移動は主に堆積と雪崩によって起る。頂点位置 x_{top} が左右どちらかに片寄った場合、より中心近くに新たに頂点を占める粒子が堆積し頂点の移動が起る。また、大規模な雪崩が起きた場合、頂点にあった粒子は雪崩により流され、後に残った粒子が新たに頂点となる。その結果、雪崩によって急激な頂点移動が発生する。頂点の位置はその次に落下する粒子が左右どちらの斜面に堆積するかを決定し、その後の砂山形成過程に影響を与える。

頂点 x_{top} の時系列のパワースペクトルをとると図 2 のような結果が得られる。減衰の仕方は大きく二つに分けることができる。一つは落下位置 h が低く落下時間間隔 τ が大きいときで、Lorentzian のような減衰が現れる。もう一つは逆に h が高く τ が短いときで、巾的な $(1/f^\alpha)$ 減

*1 E-mail: chiyori@yuragi.jinkan.kyoto-u.ac.jp

衰が見られる。 h が大きく、 τ が小さくなるにつれ指数 α は 1 に近づく。その中間領域で α は緩やかに変化する。

$1/f$ の減衰が現れるという事は、砂山頂点の位置 x_{top} が長時間相関を持つことを意味する。砂山の重心の時系列を測定しても同様の減衰は現れず、床にかかる応力の z 方向成分を測定しても減衰の仕方にほとんど依存していない。従って、長時間相関の原因は砂山内部に長時間の影響が残っているのではなく、砂山表面付近に存在するのではないかと予想される。

雪崩と頂点移動はお互いに影響を与える量であるが、頂点位置の時系列のパワースペクトルが $1/f$ を示す条件でも、床下への落下粒子量の時系列に $1/f$ の減衰は現れない。これは Held らの実験において砂山の重さの時系列のパワースペクトルが $1/f^2$ の減衰を示す [1] ことと整合する。頂点移動のダイナミクスの定性的な変化が雪崩にどのような影響を与えるかは今後検討の必要がある。

参考文献

- [1] G.A.Held, D.H.Solina, D.T.Keane, W.J.Haag, P.M.Horn, and G.Grinstein, Phys.Rev.Lett. **65** (1990),9.

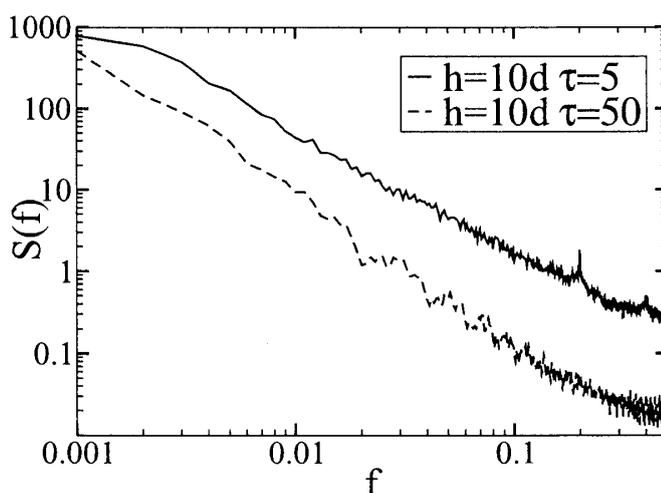


図 2: 頂点位置の時系列について周波数 f に対するパワースペクトル $S(f)$ (右) 落下位置は $h = 10d$ 、落下時間間隔 $\tau = 10$ と $\tau = 50$ 。巾的減衰を示すが、指数は τ が小さいときは -1.42、大きいときは -1.72。