

砂丘骨格模型による3次元砂丘の動力学 Three-Dimensional Dune Morphodynamics Using Dune Skeleton Model

新屋 啓文^{1*}, 粟津 暁紀¹, 西森 拓¹
Hirofumi Niiya^{1*}, Akinori Awazu¹, Hiraku Nishimori¹

¹ 広島大学大学院理学研究科

¹Hiroshima University

砂丘は地上で最大の粉粒体地形であり、大域的なネットワークを構成し、風向きの変化に応じ、バルハン、横列砂丘、縦列砂丘、星型砂丘、ドーム型砂丘、放物線型砂丘などの様々な形状を示す。砂丘の形状は、主にその地域における風向きの定常度と砂量の2つの条件で決定されると考えられている。例えば、風向きが変化しない地域では、三日月型砂丘であるバルハンと風向きに直交する方向へ尾根が伸びている横列砂丘の2種類の砂丘が現れる。そして、バルハンは砂量が少ない場所で、横列砂丘は砂量が多い場所で形成される。

また、バルハンの一般的な性質として、一定の形状比を保ちながら風下へ移動する点と、移動速度が高さにほぼ反比例する点があげられる。これらの性質は、水槽実験や格子模型などの数値計算により、再現されつつある [1][2]。しかし、バルハン以外の砂丘の解析は定性的にしか行われておらず、砂丘形態の理論的な理解はほとんど進んでいないのが現状である。そこで、我々は2次元断面の結合系から構成される数理模型(砂丘骨格模型)を提唱し、(i) 砂量や流れの強さに応じた砂丘形態 (ii) 横列砂丘およびバルハンの安定性 (iii) 観測・実験で確認されるバルハンのスケールリング則について調べた。

バルハンと横列砂丘は、向きの変わらないほぼ一定の風の下で形成される。また、砂丘の形状にそって砂が表面を流れることで、変形、移動すると考えられる。そこで、砂丘の概形を、風向きの方向に移動し風向きに直交する方向に面を向けた断面を風向きに直交する方向に一定間隔で並べる事で表現し、各断面の運動によって砂丘の運動、変形を表現する。また、砂丘表面では、後方からの砂の供給、尾根を越える砂の流れ、斜面に沿って流れる横方向の砂の流れが存在する。本モデルでは、これらの砂丘表面上の砂の流れを、断面内の流れと断面間の相互作用に分ける。以上の砂の流れを考慮することで、各断面の高さ h と位置 x に関する連立常微分方程式が得られる。

まず、初期の断面の高さと風速に強く影響を受けるパラメータの変化に応じ、直線状・波状の横列砂丘とバルハンの3形態が得られた。そして、砂量と断面間の砂の流量の増加は横列砂丘の安定性を強めるが、砂量の減少と断面内の砂の流量の増加は横列砂丘の不安定性を強め、バルハンへの変形を促すことが分かった。また、横列砂丘の安定性は、砂丘全体を2つの断面で代表するように断面を抜き出し、抜き出した2断面系での線形安定性解析より確認でき、砂丘形状の安定性条件を理論的に(解析的)特定することができた [3]。

次に、バルハンに焦点を当て、単体のバルハンに対し、上流から砂を一定の割合で供給しつづけるという条件の下、その形状と安定性を調べた。その結果、供給方法・量をパラメータとして変化させることで、以下のことが分かった。(i) 上流から空間的に一様な砂を供給する場合、バルハンが定常に維持される供給量の範囲が狭く、そのとき形成されるバルハンのサイズはほぼ一意的となる。(ii) バルハンの中心軸付近へ局所的に砂を供給する場合、供給量に応じたサイズの異なる定常バルハンが形成され、その形状および移動速度は、観測・実験事実と定性的に一致する。

[1] N. Endo, T. Sunamura and H. Takimoto: *Earth. Surf. Process. Landforms* **30** (2005) 1675

[2] A. Katsuki, M. Kikuchi, H. Nishimori, N. Endo and K. Taniguchi: *Earth Surf. Process. Landforms* (2010) n/a. doi: 10.1002/eps.2049

[3] H. Niiya, A. Awazu and H. Nishimori: *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) 063002.

キーワード: 砂丘, バルハン, 横列砂丘, 数理モデル, 数値計算, 線形安定性解析

Keywords: sand dunes, barchan, transverse dune, mathematical model, numerical simulation, linear stability analysis