

# 砂丘骨格模型による砂丘動力学<sup>1</sup>

広島大学大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻 新屋 啓文<sup>2</sup>、栗津 暁紀、西森 拓

## 1 はじめに

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形成する。そして、砂丘は周りを吹く風によって移動し、風向きの変化に応じ様々な形状を示す。砂丘の典型的な形状として、三日月型や棒状、星型、ドーム型などが知られている。これらの砂丘の形状は主に、砂漠地域における風向きの定常度<sup>3</sup>と砂の量の2つで分類されると考えられている。例えば、風向きが一方向の場合には、バルハンと横列砂丘の2種類の砂丘が現れる。バルハンは三日月型の砂丘であり、砂の量が少ない場合に形成される。一方、横列砂丘は風向きに直交する方向へ尾根が伸びており、砂の量が多い場合に形成される。つまり、砂の量がバルハンと横列砂丘の形成条件の違いとなる。また、バルハンの特徴的な性質として、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、水槽実験やセルモデルの数値シミュレーションにより、再現されつつある [1, 2, 3]。しかし、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、本研究では、砂丘形態を理論的に捉えるため、2次元断面の結合系から構成される砂丘骨格模型 [4] を提唱し、砂の量や風の強さなどの環境条件に応じた砂丘形態の変化と安定性、および、バルハンのスケーリング則について調べた。

## 2 砂丘骨格模型

砂丘の外形は、風向きに沿った方向に一定間隔で断面を並べ、断面の集合で形作る。そして、砂丘の形態変化と移動過程は、各断面の移動と断面間の相互作用（砂の流れ）を考慮することで表現可能となる（図 1）。砂丘の移動は砂丘表面を砂が流れることで起こるため、砂の流れを断面内と断面間の2種類に分ける。このモデルは、断面の頂点の高さ  $h$  と進行方向の位置  $x$  の連立常微分方程式からなり、複雑な砂丘形態を簡潔に取り扱うことが可能となる。

## 3 結果

砂丘形態について、シミュレーション結果から砂の量と風の強さの変化に応じ、直線状・波状の横列砂丘とバルハンの3形態が得られた（図 2）。そして、砂の量と断面間の流量の増加は横列

<sup>1</sup>この原稿は、基研研究会 2010 非平衡系の物理 -非平衡ゆらぎと集団挙動の報告書である。

<sup>2</sup>E-mail: hiro-niiya@hiroshima-u.ac.jp

<sup>3</sup>ある観測地点での風速の周期性に関する用語：風速ベクトルの平均値と風速の大きさの平均値の比

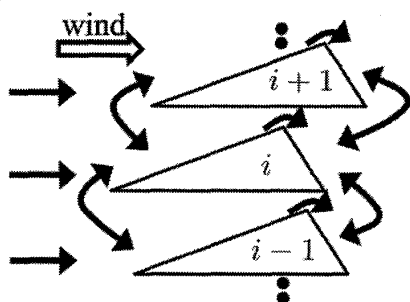


図 1: 砂丘骨格模型の模式図

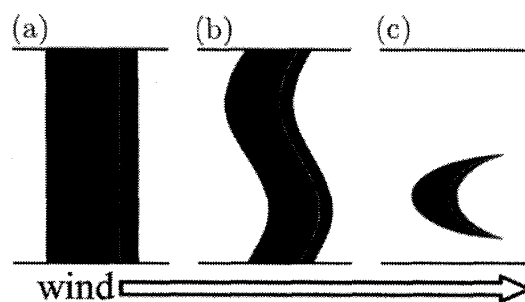


図 2: 砂丘の3形態: (a) 直線状の横列砂丘 (b) 波状の横列砂丘 (c) バルハン

砂丘の安定性を強めるが、砂の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引き起こすことがわかった。さらに、2断面系での線型安定性解析により、シミュレーション結果と定性的に対応する直線状の横列砂丘の安定領域を理論的に特定した。

また、バルハンに焦点を当て、上流からの砂の供給方法・量の違いがバルハンの安定性に及ぼす影響について、シミュレーション結果から以下のことが明らかになった。i) 上流から空間的に一様な砂が供給される場合、バルハンが数値的に定常となる供給量の範囲が狭く、形成されるバルハンのサイズはほぼ一意的となる。ii) バルハン中心軸付近への局所的な砂の供給の場合、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、その形状に関するスケール則、および、移動速度は観測・実験事実に対応する。

#### 4 まとめと今後の考察

今回、我々は砂丘骨格模型の数値シミュレーションと線型安定性解析を行い、環境条件に応じた砂丘形態の切り替わりや安定性、定常バルハンの形成・スケールリングについて調べた。得られた結果は、既知の観測・実験事実や複雑な数値シミュレーション結果とも定性的に対応している。よって、砂丘骨格模型は砂丘形態を理論的に取り扱うための有効な手法であると言える。今後、波状の横列砂丘の安定性や供給量に応じたバルハンの安定性の解析、および、バルハンのスケールリングが線型でありうる要因などを議論する必要がある。

#### 参考文献

- [1] P. Hersen, S. Douady and B. Andreotti, Phys. Rev. Lett. **89** (2002), 264301.
- [2] C. Narteau, D. Zhang, O. Rozier, and P. Claudin, J. Geophys. Res. **114** (2009) F03006.
- [3] A. Katsuki, M. Kikuchi, H. Nishimori, N. Endo, and K. Taniguchi: Earth Surf. Process. Landforms, n/a. doi: 10.1002/esp.2049
- [4] H. Niiya, A. Awazu and H. Nishimori, J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010), 063002.