

再現から理解へ-複雑な砂丘運動の縮約模型

砂漠地帯では、大小の美しい砂の丘が形作られる。砂丘の形は多彩であり、場所と時間によって姿を変える唯一無二の形状こそが美しさの神髄のように思えるが、注意深く観察すると、地球のあちこちの砂漠で共通のパターンを見いだすことができる。砂丘は、周辺を吹く風で成長し、風速や風向の持続性や砂の量などの環境条件によって、三日月や、星、半球型などの特徴的な形をつくる。最近の研究では、地球の砂丘と同様な形状--とくにバルハンと呼ばれる三日月型の形状--の巨大な丘が、火星などの他の惑星表面にも存在することが知られており、また、砂漠だけでなく、雪原上や海底深くにも類似の形状が見いだされている。

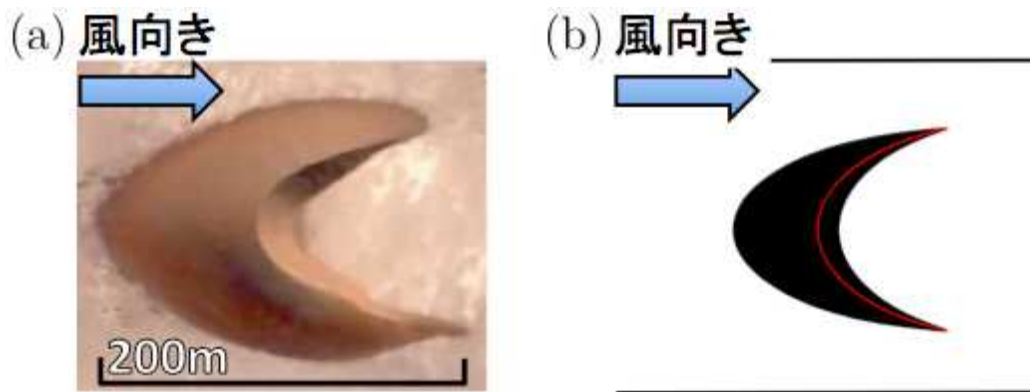


図1. (a) 砂漠上のバルハン、(b) シミュレーションのバルハン

砂丘は数十 m～数十 km の空間スケールを持っており、詳細な衛星画像から砂丘が示すパターンを容易に観測することが可能であるが、年オーダーという非常にゆったりとした時間スケールを持ち合わせるため、形態変化や移動といった動的な情報を衛星画像から得ることは難しい。そこで、水槽実験や数値シミュレーションを用い、砂丘の理解が進められている。研究の多くは、多様な形状を持つ砂丘の内、形と運動の両面におよぶ対称性の高さから「バルハン」と呼ばれる孤立砂丘について焦点を当てている。バルハンとは、風向きが一方向で砂の量が少ない場合に形成される三日月型の砂丘であり、一定の形状を保ちながら、高さにほぼ反比例した速度で移動を行う。近年、バルハンの特徴的な性質や形成・移動過程は、水槽実験や数値シミュレーションにより明らかにされつつある。例えば、水槽実験では、砂漠で見られるバルハンとほぼ同じ形状を保ち縮小された「ちびっこバルハン」が、自発的に形成され、複数のバルハンの衝突過程を観測することが可能となった。数値シミュレーションでは、砂丘上での砂の移動（主に飛砂と雪崩）を取り込んだ2次元大自由度セルモデルなどがあり、いずれもバルハンの形成・移動を再現し、観測・実験事実とも対応しつつある。一方でバルハン以外の形状の砂丘の定量的研究は大きく遅れており、バルハンと形成条件が似ている横列砂丘（風向きが一方向で砂の量が多く、風向きに対し横方向へ尾根が伸びる砂丘）でさえも、その形成過程や形状の安定性を記述し、解析可能な数理モデルは提出されていないのが現状である。

最近、広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻の研究グループは、風向きが一方

向の場合に形成される横列砂丘とバルハンに焦点を当て、従来の観測・実験・シミュレーションにより得られた知見から現象の本質を縮約し、横列砂丘とバルハンの形態変化や移動を1次元結合力学系（連立常微分方程式）として記述した。このように、低自由度化できたことで力学系の解析手法を用いることが可能となり、横列砂丘の形状の安定性を理論的に解析することが可能になった。その最初の一步として、今回の論文では、環境条件に対応するパラメータ（風の強さ、砂の量）の変化に応じ、安定な横列砂丘と横列砂丘の不安定生が成長し、バルハンへと変形するシミュレーション結果および理論解析が得られた。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JP SJ)の 2010 年 6 月号に掲載された。

本研究の成果は、これまでの観測・実験で得られている砂丘の定性的特徴を再現し、かつ、その機構を理論的に説明することが可能である数少ない例の一つであり、未だ明らかにされていない他の形状の砂丘への応用、砂丘同士の衝突や砂のやり取りなど砂丘同士の相互作用を取り入れたより一般的な系への拡張が期待される。また、今後の研究の進展により、道路の寸断や石油のパイプラインの破損、都市部や農場への侵食といった砂丘が引き起こす自然災害への対策の考案、さらには、他の惑星や衛星の表面に描かれる模様から、周囲の環境条件を特定できる可能性を秘めている。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) No.6, p. 063002

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/063002> (6 月 10 日公開)

<情報提供：新屋 啓文（広島大学）、粟津 暁紀（広島大学）、西森 拓（広島大学）>