

# 砂丘の相互作用ダイナミクス(シミュレーション)

## Interaction dynamics of sand dunes in numerical simulation

# 勝木 厚成[1]; 菊池 誠[2]; 遠藤 徳孝[3]; 西森 拓[4]

# Atsunari Katsuki[1]; Macoto Kikuchi[2]; Noritaka Endo[3]; Hiraku Nishimori[4]

[1] 阪大理 & 阪大サイバー; [2] 阪大サイバー; [3] 阪大・理・宇宙地球; [4] 府大・工・数理

[1] Phys. sci., Osaka University & Cyber media center, Osaka University; [2] Cyber media center, Osaka University; [3] Earth and Space Sci., Osaka Univ.; [4] Graduate school of Engineering, Osaka Pref. Univ.

<http://www.cp.cmc.osaka-u.ac.jp/~katsuki/indexJ.html>

地形の多くは粉粒体と流れによって形成されており、その代表的なものに砂丘がある。

砂丘の振る舞いは多様だが、その構成要素は単純である。このような系は様々な自然現象に見られ、多くの物理学者の興味を集めている。

砂丘は物理的興味だけでなく環境問題にも深く関わっている。例えば、砂丘の様子は砂漠だけでなく海底や火星上にもみられており、その形態からその場での環境条件を知ることができる。また、砂丘が街を飲み込むという砂丘災害があり、防災の観点からも注目されている。

過去に単独砂丘の研究は数多くあるが、砂丘間の相互作用の研究はほとんどされてこなかった。特に、相互作用の中で最も劇的な変化をもたらす衝突現象のタイムスケールは数十年と長いために、全過程を観測することができず、衝突のダイナミクスの系統的な研究はなされてこなかった

そこでこれまで、バルハン砂丘(三日月型砂丘)の相互作用を理論的に研究することを目的として、計算機シミュレーションを行った。まず、流体の効果として砂が風によって運ばれること、粉粒体の効果として安息角以上では雪崩がおきることという2つのプロセスだけを素過程とするモデルを構築した。このモデルは過去に提案された他のどのモデルよりも単純で、砂丘のミニマムモデルと呼ぶものである。

そして、このモデルを使い、砂丘の衝突ダイナミクスを調べたところ、砂丘が衝突した後、合体する場合と分裂する場合があることを見出した。この分裂が起きるといふ結果を用いることで、いままで未解決なままであったいくつかの観測結果を説明することができた。この合体-分裂のタイプは、2砂丘の質量比と衝突位置を変数として描いた相図によって特徴づけることができた。

シミュレーションで得られた砂丘断面の時間発展を詳細に調べることにより、衝突した2砂丘の高さが入れ替わり、分裂が起きることがわかった。このダイナミクスの特徴は空間を1次元化したモデルでも確認することができる。このことは衝突ダイナミクスの本質は風に水平な方向の砂の移動だけであることを示唆している。

このモデルを横方向の砂の移動を無視し単純化したことで、砂丘の高さの入れ替わりは風下砂丘の飛砂の抑制で説明できることがわかったので、それに基づいて、砂丘高さの現象論的発展方程式を導いた。それは幾何学的な関係と砂量の質量保存式から導くことができ、シミュレーションで得られた衝突現象の特徴をよく再現する。このことは先程の飛砂の抑制が高さの入れ替わりの原因であることを裏付けている。さらに、この発展方程式を解くことにより、様々な風速プロファイルにおける合体-分裂の境界を導くことができた。

次に、この衝突現象を実験で系統的に調べた。ここでは、過去に実験の研究室に在籍していた強みをいかし、実験の全行程を行った。その結果から、シミュレーションは衝突過程を細部までよく再現しており、合体と分裂の相図も再現していることが確認できた。さらに、合体-分裂境界についても理論解析でえられた結果が実験と同じ振る舞いをすることを確認した。これは合体-分裂の全過程を観測することに成功した世界初の実験である。

以上の結果から、2つのバルハン砂丘の衝突現象の本質を計算機シミュレーションと発展方程式と実験により理解することができた。また、砂丘は飛砂と雪崩のプロセスだけで形成されていることがわかった。

さらに、このモデルに基づく計算機シミュレーションで、バルハンの生成には2種類あることを示した。一つは揺らぎを含んだ砂床から自己組織化によってバルハンができる場合で、もう一つは砂が十分あるときにできる横状砂丘が時間が経つと、ちぎれてバルハンになるという場合である。特に、後者は砂丘パターンの変遷といういままで注目されてこなかった現象である。この2つの生成パターンのダイナミクスを同時に確認できたモデルは過去にはなく、今回提案した新モデルによって初めて成功した。