

バルハン砂丘の衝突ダイナミクス

大阪大学理学研究科物理学専攻・大阪大学サイバーメディアセンター

勝木 厚成¹

大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻 遠藤 徳孝
大阪府立大学工学研究科数理工学分野 西森 拓

砂丘は砂の量や風向きによって様々な空間パターンをとることが知られている。特にバルハンという三日月型の砂丘は特徴的で見た目にも美しいので、数多くの研究がなされてきた [1, 2, 3]。しかし、砂丘同士の相互作用の研究、特に衝突現象は、数年から数十年というタイムスケールの長さのために、その過程を観測などで追うことは難しく、ほとんど研究されてこなかった。今回、我々は水槽下で砂丘の衝突実験を行い、そこで見られた衝突過程を計算機で再現した。

砂丘モデルとしては、砂丘を再現するもっとも簡単なモデルとしての Coupled lattice model をつかうことにする。そして、砂の移動のプロセスとして2つのプロセスだけを考える。1つ目は、風によって砂が飛ばされる過程 (Saltation と呼ばれる) で、単位時間に飛ぶ距離 L_S と飛ぶ砂の量 M_S を以下の式の様に定義する。

$$L_S = a + bh(t) - ch(t)^2 \quad (1)$$

$$M_S = d \quad (2)$$

ここで、 $h(t)$ は砂の高さをあらわし、パラメータは $a=1.0, b=1.0, c=0.01, d=0.1$ とする。式 (1) は、高さによって飛ぶ距離は長くなるが、飛びすぎないようにしてある。ただし、シミュレーションでは Saltation は式 (1) の増加関数部分だけを使うことにする。2つめのプロセスは雪崩 (Avalanche) である。これは、砂の一般的な性質で、斜面が安息角より大きくなると斜面の最も急勾配の方向へ砂を流すプロセスである。今、砂の安息角は 34° としてある。

このモデルを使って2つの砂丘を衝突させる。衝突させる砂丘はあらかじめ準周期境界条件で三日月型にしてある。衝突シミュレーションの境界条件は、砂漠と似た環境にするために自由境界にする。まず最初に、中心軸位置が同じで、風下砂丘の質量 $M_l = 10$ 、風上砂丘の質量 $M_w = 2$ の場合の2砂丘の時間発展を図1(上図)に示す。風上砂丘は風下砂丘の一部をえぐっていき、しばらくすると吸収されてしまう。このとき、一時的にいびつな形になるが最終的には三日月型にもどっていく。このプロセスを合体と呼ぶことにする。風下砂丘の質量 $M_l = 10$ 、風上砂丘の質量 $M_w = 7$ の場合の時間発展を図1(下図)に示す。風上砂丘は合体の場合と同じように、風下砂丘の一部をえぐっていき、しばらくすると、一見合体したように見えた砂丘から、子バルハンが出てくる。このとき、2本の砂の峰を作っているのがみられる。その後、子バルハンは親バルハンから完全に分かれて、離れて行く。このプロセスを貫通と呼ぶことにする。これらのプロセスは実験とよく

¹E-mail: katsuki@cp.cmc.osaka-u.ac.jp

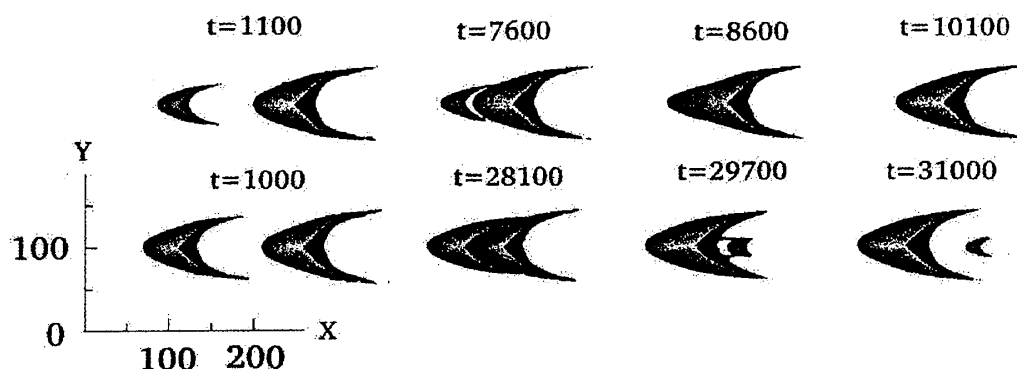


図 1: 2 砂丘の衝突の時間発展。風は左から右にふいており、砂丘は風下方向に移動して行く。そして、安息角になっている部分は黒に塗ってある：(上図) 風下砂丘の質量 $M_l = 10$ 、風上砂丘の質量 $M_w = 2$ の場合、合体を表している。；(下図) 風下砂丘の質量 $M_l = 10$ 、風上砂丘の質量 $M_w = 7$ の場合、貫通を表している。

似た振る舞いをしていることが確認されている。また、複雑な流体の流れを考慮した場合でも同じような振る舞いをするのが示唆されている [4]。

なぜこのような振る舞いをするのかを理解するために、風方向にそった断面図の時間発展をみた。すると、貫通が起こるときにはいつも、風上砂丘の高さが低くなり、風下砂丘の高さは高くなり、高さの入れ換わりが起こることがわかった。これは、風上砂丘が風下砂丘に乗り上げるために、風下砂丘の砂の一部が飛べなくなり、風下砂丘は低くなり、それに対して、風上砂丘は風下砂丘の斜面を登ることで高くなると、考えると理解できることがわかった。そして、この考えをもとにして砂丘衝突の時間発展方程式を導くことができ、その特徴はシミュレーションを再現していることが分かった。

参考文献

- [1] R. A. Bagnold, The Physics of Blown Sand and Desert Dunes (Methuen, London, 1941)
- [2] K. Pye and H. Tsoar, Aeolian Sand and Sand Dunes (Unwin Hyman, London, 1990)
- [3] B. Andreotti, P. Claudin and S. Douady, Eur. Phys. J. B. **28** (2002) 321.
- [4] V. Schwammle and H. J. Herrmann, Nature **426** (2003), 619.