

砂丘形成の動力学モデル

大内 則幸* 東大 教養, 西森 拓† 茨城大 理

砂丘とは多数の砂のある種の協同的な運動によって生じる、Large Scale なパターンである。その大きさは波長にして km のオーダーを持ち、その時間スケールは year 以上である。そのような大きなオーダーのため、砂丘に関して知られている事柄には、実験的なバックグラウンドを伴わないものが多い。

これまで主に、風紋の形成に関して研究を行ってきた [4,5,6]。しかしまだ砂丘の性質、特にその発生および、進化に関しては全くといっていいほど理解が進んでいない。そこで、近年サハラ砂漠において行なわれた、風による砂丘の表面の砂の輸送量の傾斜依存を調べるための実験 [7] の結果を用いたシミュレーションモデルを構成し、現在知られている砂丘のダイナミクスと比較することによって、特に砂丘の発生、進化について議論をすすめることを目標に研究を進めている。今回の発表は、主にシミュレーションで得られたパターンと、パラメータ空間についてのものであった。

1. Model

シミュレーションのモデルを構成する力学系として、2次元の Coupled Map Lattice [1] を用いた。Coupled Map Lattice は、これまでさまざまな現象を研究するのに使われている [2,3]。今回発表するモデルにおける計算の手順は

- (A) 場の変数は、砂山の高さ $h_{x,y}$ と、風速 $u_{x,y}$ である。
- (B) 現象を分解すると、砂が風によって輸送されるサルテーションというプロセスと、局所的に高くなった砂山が崩れる、クリープのふたつである。
- (C) サルテーションに関しては、一方向にのみカップリングを持ち、傾斜に依存して砂の輸送量を決め、クリープは、next-nearest-neighbor までの拡散で置き換えた。
- (D) 各ユニットを交互にパラレルに計算する。

となる。

具体的には、風は x の正の方向へ吹いているとして、

Step1: Saltation dynamics

$$\begin{aligned} h_{x,y}^{t'} &= h_{x,y}^t - q \\ h_{x+1,y}^{t'} &= h_{x+1,y}^t + q \\ q &= Ak(u_{x,y}^2 - B^2 u_c^2) u_{x,y} \\ A &= [\tan i / (\tan i - \tan b)]^7, \quad B = 1.37 \sqrt{\sin(\pi/6 - b)} \\ u_{x,y} &= (h_{x-1,y} / h_{x,y}) u_{x-1,y} \end{aligned}$$

ここで、 $\tan i = \tan(\pi/6)$, $\tan b = h_{x,y} - h_{x-1,y}$ である。

Step2: Creep dynamics

$$h_{x,y}^{t+1} = h_{x,y}^t + D \nabla_{x,y}^2 h_{x,y}^t$$

このような Step1 と Step2 を交互に計算する。

これまでのモデル [4,5] との違いは、相互作用が局所的である、一方向に砂の流れを持つモデルであることと、ダイナミクスに実験からの結果を取り入れた非常にリアルなモデルであるということである。

*e-mail: bob@cogito.c.u-tokyo.ac.jp

†e-mail: westwood@tansei.cc.u-tokyo.ac.jp

2.Result

シミュレーションのパラメータは、

風速 u_c 、クリープ頻度 D 、砂の輸送係数 k 、系の砂の総量 Q_{max} 、
である。シミュレーションの結果、非常に綺麗なパターンが得られた (Fig.1a, Fig.1b)。

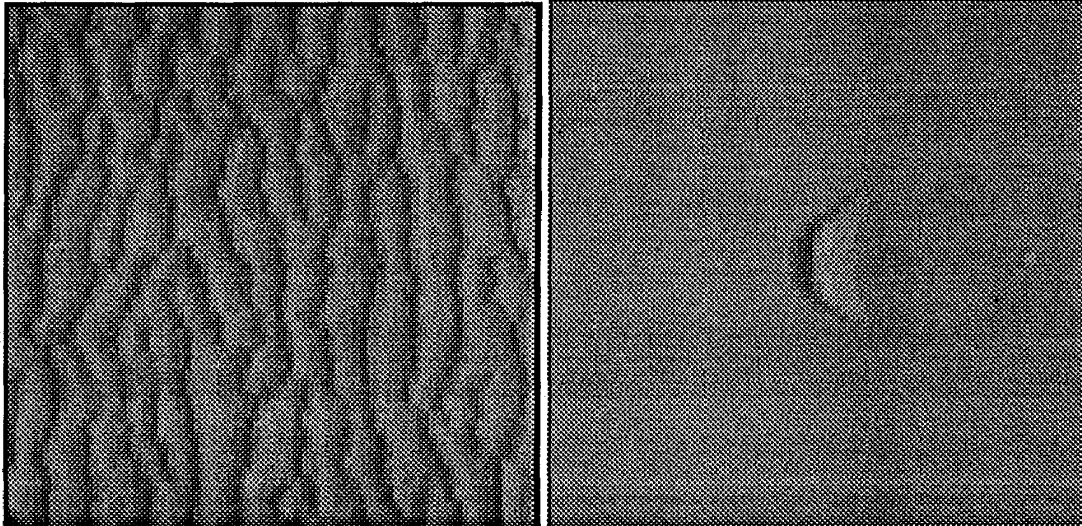


Fig.1a

Fig.1b

これらは、初期状態の違いによるものである。また系を横から見たプロファイルに関しても、現実の砂丘のものと同様な風上と風下の非対称な形態が見られる Fig.2 (全ての図において風向は左から右である)。

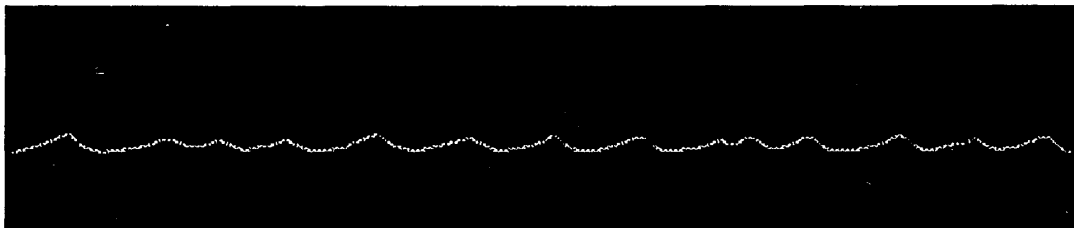


Fig.2

参考文献

- [1] K.Kaneko Simulating physics with coupled map lattices in *Formation, Dynamics, and Statistics of Patterns* World Scientific(1990)
- [2] Y.Oono, S.Puri Phys.Rev.38A(1988) 1542
- [3] T.Yanagita Phys.Lett.A,165 (1992)405
- [4] H.Nishimori, N.Ouchi Int.J.Mod.Phys.B7(1993)2025
- [5] H.Nishimori, N.Ouchi Phys.Rev.Lett.71(1993)197
- [6] N.B.Ouchi, H.Nishimori, preprint(1993)
- [7] J.Hardisty, R.J.S.Whitehouse Nature332(1988)532