

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400482

研究課題名(和文)複合砂丘ダイナミクス解明に向けて：アナログ実験によるアプローチ

研究課題名(英文)Experimental Study of Dynamics of Network Dunes

研究代表者

関口 智寛 (SEKIGUCHI, Tomohiro)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：90400647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：地球や火星など様々な天体に見られる複合砂丘・ネットワーク型砂丘の再現を念頭におき、流向が周期的に変化する一次元振動流下で準安定状態に達するベッドフォームについての二方向振動板実験に取り組んだ。実験の結果、典型的には蜂の巣状ベッドフォーム、格子状ベッドフォーム、二次元ベッドフォームが形成され、(1)流向の多様性、(2)流速、(3)流れの持続時間、(4)粉体特性がベッドフォームに及ぼす影響が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：A series of two-directional oscillatory-bed experiments was conducted to examine quasi-equivalent bedforms by pure oscillatory flow with periodically changing its direction. The results showed two-dimensional bedform, and three dimensional bedforms with a grid-like pattern or honey-comb-like pattern developed depending on variety of flow direction, flow velocity, duration of flow, and bed materials.

研究分野：堆積学

キーワード：砂丘 水理実験 ベッドフォーム 多方向流

### 1. 研究開始当初の背景

いわゆる“砂丘 (dune)”は、もともと基礎的な堆積作用、すなわち粉体に対する流体運動の作用による粉体粒子の運搬・沈積により形成される堆積地形である。砂丘は、流体運動の複雑さや粉体粒子の存在量に応じて、横列砂丘（一方向流卓越、砂が多い）、バルハン砂丘（一方向流卓越、貧砂）、縦列砂丘（二方向流が高角度で作用、砂量によらない）、複合砂丘（多方向流、砂が多い場合；図1）、ネットワーク砂丘（多方向流、砂が少ない）などに大別されるが、各砂丘種内における形状バリエーションはきわめて多様である。砂丘を形成する流体と粉体の組み合わせは様々であり、たとえば地球上においては、大気と砂（砂漠）、水と砂（海底ほか）、大気と雪（雪原）などにより砂丘が形成される。また、火星からは砂やドライアイス粒子の砂丘（図1b,c）、タイタンからは炭化水素固体粒子からなると考えられる砂丘が報告されており、それは各天体における風向・風速変動を推測するための指標となっている。さまざまな砂丘の形成条件やダイナミクスを明らかにしていくことは、地球上における堆積作用への理解の深化はもちろん、地球外の天体において砂丘形状から大気運動を推測する上でも重要である。また、将来的に発達していくであろう“惑星堆積学”において、砂丘とその内部構造の研究、およびそれらに基づく古気候変動復元は主要な柱の一つとなることは間違いなく、砂丘ダイナミクスの理解はその基礎となることが期待される。

大規模風成砂丘の発達・動態は中・長期的な風向・風速変動を反映するため、野外において砂丘のダイナミクスをとらえるためには数年単位の長期にわたる観測が必要となる。このため、より短時間で砂丘ダイナミクスについて研究をおこなうことを目的に、近年、アナログ実験やセルオートマトンモデルを用いた数値実験による砂丘ダイナミクス研究が活発になっている。この種のアナログ実験では、形成される砂丘規模を抑制するために水を作用流体とすることが多く、一方向流水路実験や一方向振動板装置実験がおこなわれている。過去の研究事例では、比較的単純な流体運動により形成される横列砂丘、バルハン砂丘（群）、縦列砂丘の形成プロセス、ダイナミクスについて主に議論されており、その特性が明らかにされてきた。一方、より複雑な流体運動によって形成される多様な複合砂丘・ネットワーク砂丘についてはシミュレーションによる研究事例が報告されつつあるものの、一般的に用いられるアナログ実験装置では複雑な流体運動の発生に適していないこともあり、実験的研究事例そのものが少ない。前述したように同じく複合砂丘・ネットワーク砂丘に分類される砂丘であってもその形状は多様である（図1）。種々の砂丘形状と形成条件をそれらのダイナミクスと関連づけて解明することは、堆積作用

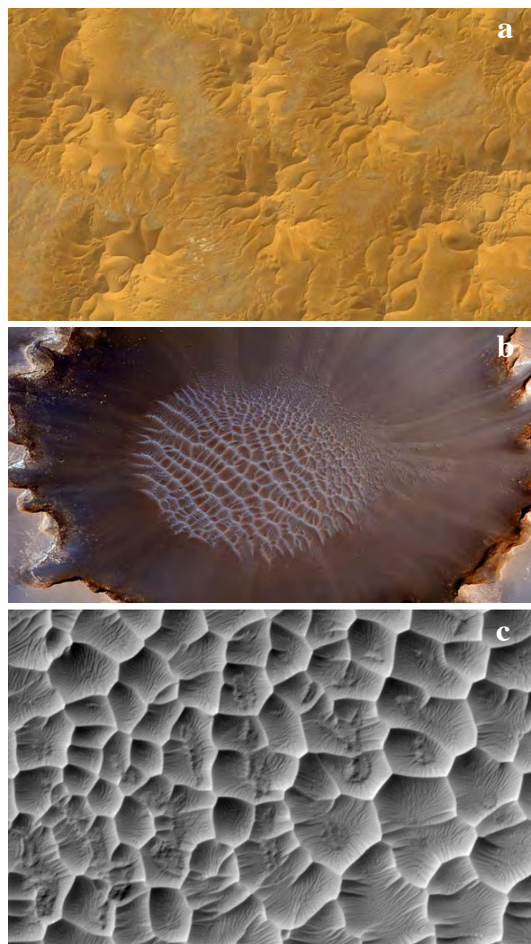


図1. 複合砂丘の例：a)サハラ砂漠（©Google）、b,c)火星（©NASA）

と地形変動への理解を深めるにとどまらず、地球外天体の砂丘形状に基づく大気運動の推測をより確かにするものと期待され、砂丘ダイナミクス研究において次に取り組むべき課題の一つであるといえる。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、アナログ実験により多方向流下のベッドフォームを形成し、砂丘に対する流体運動の諸元（流向の多様性、とくに各流れ成分のなす角、流速、持続時間）、および粉体特性、粉体存在量の影響を系統的に検証する。

### 3. 研究の方法

本課題では申請者が考案した二方向振動板装置を用いた実験を行った。静水中で砂床を動かすことで流体と砂床の相対的な運動を引き起こす振動板装置の中で、特に本研究で用いた二方向振動板装置は互いに直交する二方向に任意の対称・非対称振動を起こすことができる世界唯一の装置であり、二方向の振動の組み合わせにより任意の周期・振幅・方向の一次元振動や、多様な二次元振動をおこなうことが可能である。

本実験においては多方向風が作用する場



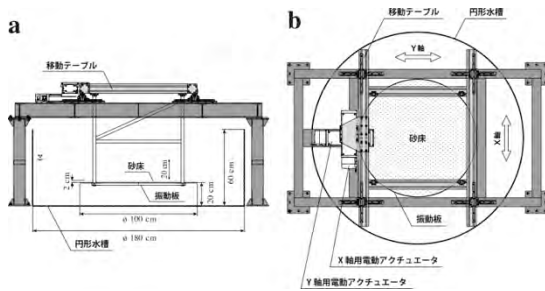


図 2. 二方向振動板装置

を想定し、単一条件の振動で地形が平衡に達するのに要する振動回数に比べて十分に少ない回数の振動（一方向の振動につき 10~30 回）を、方向を変えながら、地形が平衡状態に達するまで繰り返し作用させた。この際、各振動の周期を 1~1.5 秒、振幅を 2.5~4 cm、各振動のなす角を 0~90 度とした。振動回数をコントロールした対称振動を作用させた。砂床の初期地形を平滑床とし、実験砂として粒径 0.2 mm の珪砂を中心に、粒径 0.05、0.4 mm の珪砂および粒径 0.01 mm のホワイトアランダムを用いた。特に粒径 0.2 mm の珪砂を用いた実験では、十分に砂が存在する状況（砂層厚 2.5 cm）に加え、貧砂状況（砂層厚 3mm）を想定した実験を行った。

#### 4. 研究成果

実験の結果、十分な回数の振動を作用させると、ベッドフォームは順平衡状態に達した。各パラメータと順平衡状態のベッドフォームの間には以下の関係が見られた。

(1) 各振動成分同士がなす角、振動速度、振動回数が等しい場合、1 成分振動では二次元ベッドフォーム、2 成分では格子状ベッドフォーム、3 成分では蜂の巣状ベッドフォームが発達し、それ以上の振動成分数の増加は

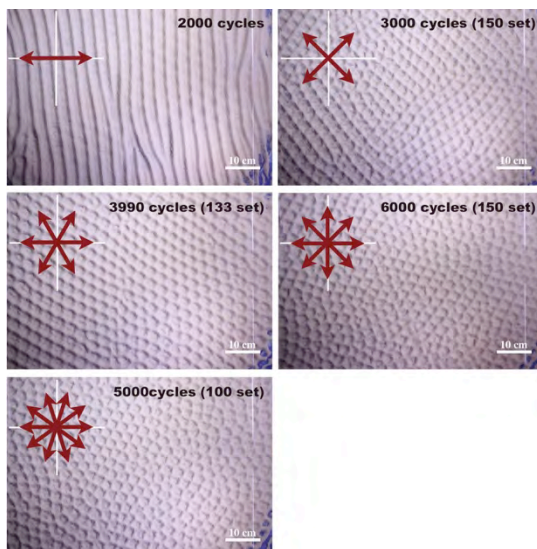


図 3. 振動の多方向性に対する地形パターンの応答（各振動のなす角が等しい場合）

ベッドフォームの大局的なパターンに大きく影響しない。

(2) 2 振動成分実験においては各振動成分のなす角が 60 度以下の場合に二次元ベッドフォームが形成され、クレストラインの伸長方向は 2 振動の合成方向と直交する傾向を見せた。ただし単一条件の一次元振動で形成されるベッドフォームと比べ枝分かれが多く、特に 60 度の場合には、トラフに主クレストラインと直交する二次波峰が散見された。75 度以上の場合には、格子状ベッドフォームおよび蜂の巣状ベッドフォームが形成された。

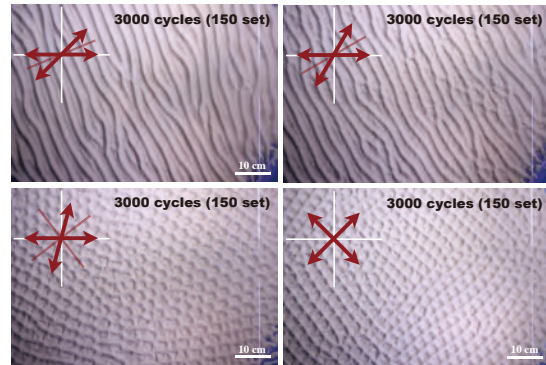


図 4. 2 振動のなす角に対する地形パターンの応答

(3) 3 振動成分実験においては各振動成分のなす角がいずれも 30 度以下の場合には枝分かれの多い二次元ベッドフォーム、45 度前後の場合には格子状ベッドフォーム、60 度前後で蜂の巣状ベッドフォームが形成された。

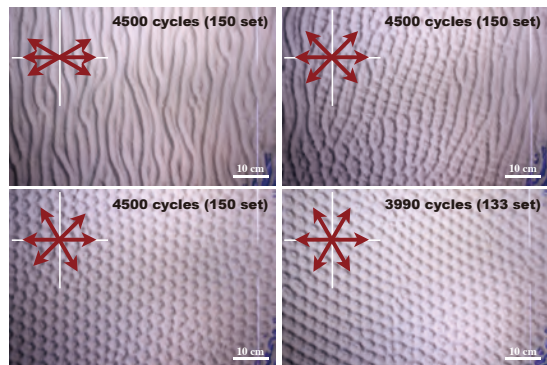


図 5. 3 振動のなす角に対する地形パターンの応答

(4) 振幅及び各振動成分同士がなす角を一定とした場合、振動回数を一定として振動速度を変化させたケースと、振動速度を一定として振動回数を変化させたケースで類似するベッドフォームが形成される場合があった。

(5) 珪砂を用いた実験では、粒径による影響は顕著に表れなかった。ただし、0.05 mm 砂での二次元ベッドフォームの発達途上においては、特徴的な枝分かれの多いベッドフォームが形成された。また、ホワイトアランダムを用いた実験では、一次元振動下においても菱形の特徴的なベッドフォームが発達

した。

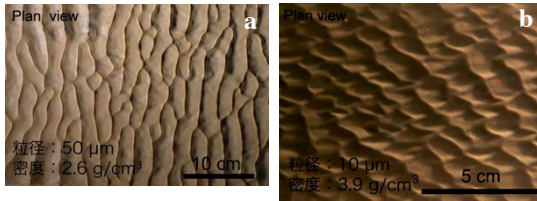


図 6. 細粒堆積物に見られた特徴的パターン：a) 粒径 0.05 mm 珪砂、b) ホワイトアランダム

(6) 貧砂状況で形成されるベッドフォームは、砂が十分存在する場合とほぼ同等であった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

- ① Sekiguchi, T. Bedforms under polydirectional flow: a preliminary experiment using pure oscillatory flow. International workshop of Stratodynamics, Nagasaki University, Nagasaki, Japan, Aug. 2013.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 智寛 (SEKIGUCHI, Tomohiro)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：90400647

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者 ( )