

三日月型砂床形態から流体環境復元の可能性

遠藤 徳孝・砂村 継夫・瀧本 博司

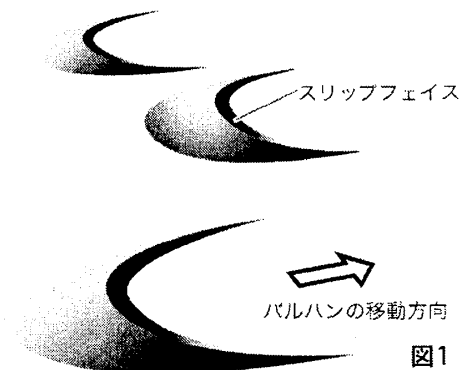
大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻

緒言：

空気や水の流れが作用するような場所にある碎屑物（土砂堆積物）を一般に砂床と呼び、流れによって再移動する際に生じる地形を砂床形態とよぶ。土砂の量が十分多く、厚く堆積している場合は砂床形態は連続的であるが、移動可能な碎屑物の量が少ない場合、その下の基盤（固定床）が露出し、碎屑物のある所と無い所に分かれ、砂床は孤立型となる。孤立型砂床の代表的なものに、沙漠や海底などで多く見つかる三日月型した地形があり、総称してバルハン（barchan）と呼ばれる。サイズは広い分布範囲を持ち、大きいものは数百メートルに達し、砂丘に分類される。火星で見つかっているものも非常に大きい。他の砂床形態と同様に、砂粒子が流体により再移動することで発生するが、バルハンは安定すると大きさと形をほぼ保って、三日月の先端が指す向きに移動する（図 1）。

バルハンの形は発生する場所により細長かったり、丸みを帯びたりといった違いが見て取れる。また、大きなバルハンは長期間にわたって存在し続けるが、同一のバルハンでも季節的な流体の変動に応じて形を変える[1][2]。

砂丘には、バルハン以外のいくつかのタイプがあり、流体の性質と砂丘のタイプについての研究は既にあるが[3]、同じ三日月型地形の範疇内における、バルハンの形に関する違いの議論はない。本稿では、水槽による再現実験の結果から、流れのタイプとバルハンの形状との関係について定性的に見ることにする。



実験：

実験水槽（長さ 11 m，幅 20 cm，深さ 50 cm）に設置したポンプにより水を循環させ一方向流を発生させる。初期地形として、25 cm×20 cm の領域に厚さ約 3 mm で粒径 0.1 mm の砂を敷き、これに流れを作用させた。

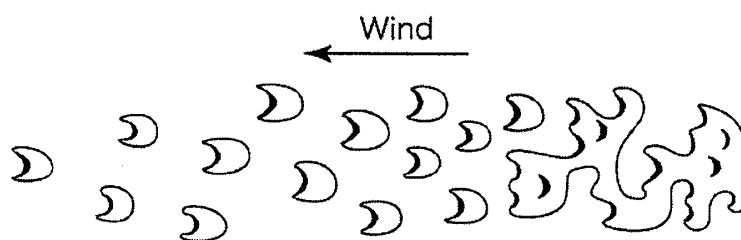
結果と考察：

図 2 に、実験終了時の砂床の様子を示す。砂の供給源からバルハンの行進が

続いており，図3のように Bagnold が示した実際の沙漠で見られる belt of barchans[3]に似ている．



図 2



A typical belt of barchans (not to scale)

図 3

バルハンの形成過程としては，流れに垂直に峰が延びるトランスバース・タイプの砂床から峰がうねるバルハノイド・タイプに変化した後，下流方向に突き出た部分の峰が途切れることで孤立しバルハンとなる場合と，基盤が露出し砂が無かった場所に上流からやって来た砂が集まりマウンドとなった後，塊となって移動する最中にバルハンになる場合の2種類があった．前者については，自然界でもバルハンがしばしばバルハノイド・タイプの砂床と共存することから，理解しやすい．後者については，初期の小さなマウンドの状態は不安定で必ずしもいつもバルハンに成長するわけではなく場合によっては消えてしまうこともあり，野外で見つけるのは容易ではないと思われる．Andreotti らは，沙漠に存在する孤立砂床としては比較的小型の，平面形がバルハンに似た比高が非常に低いマウンドを見つけており，それらはバルハンのでき始めの状態であると解釈している[4]．ただし，小さなマウンドからバルハンに成長するのが見られたのは実験では下流側であったのに対し，Andreotti らが見つけたマウンドはバルハン・フィールドの風上側で，バルハンが浸食されて崩れていく途中の可能性も否定できない．

次に，図4に示すバルハンの幅 W と比高 h の関係について調べた．図5は，本研究での一方向水流によるバルハン，水の表面波が底面に影響することで起きる振動水流によるバルハン[5]及び沙漠のバルハン

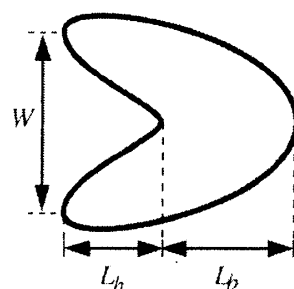


図 4

[2][6][7][8][9][10][11] についてのデータをプロットしている。多少ばらつきはあるが、実験でのバルハンと沙漠でのそれとで 4 オーダーもスケールが異なるわりには、同一の直線によく乗っていると言える。水と空気という流れ媒体の違いや、一方向流や振動流という流れの性質の違いを超えて、幅と比高の関係が成り立つことを意味し、航空写真やソナーデータなど上方からの画像だけでバルハンのおよその高さを見積もることができる。しかし、逆に言うと、幅と比高の関係からでは、そのバルハンを形成した流れの特徴について推定できない。

そこで、平面形状についてさらに詳しく調べた。図 4 に示す L_h と L_b を測定し、サイズによらない形の評価をするため、

W で割って無次元化したもので比較した。本研究での一方向水流で生じたバルハン、及び、振動水流下で発生したバルハン[5]と沙漠のバルハンのデータ[2][6][7][8][9][10][11]を図 6 に示す。図 5 と違い、流れの性質により分布域が異なることが分かる。およその傾向としては、同じ水を媒体とした流れについて比較すると、一方向流でできたバルハンは、振動流でできたバルハンよりホーンが長く、胴体の長さについても長いものの割合が多いことがわかる。また、風成のバルハンは胴体が短くホーンが長いものが多い傾向にあると見て取れる。ただし、風成のものは実際の沙漠で生じているバルハンから得たデータで、実験室のものとはサイズが異なる。従って、形の違いが流れ媒質の違いによるものであってサイズの効果ではない、と断言はできない。しかし、同じ水の流れにおいて明確は違いがあったことから、バルハンの形からそのバルハンを形成した流れの特

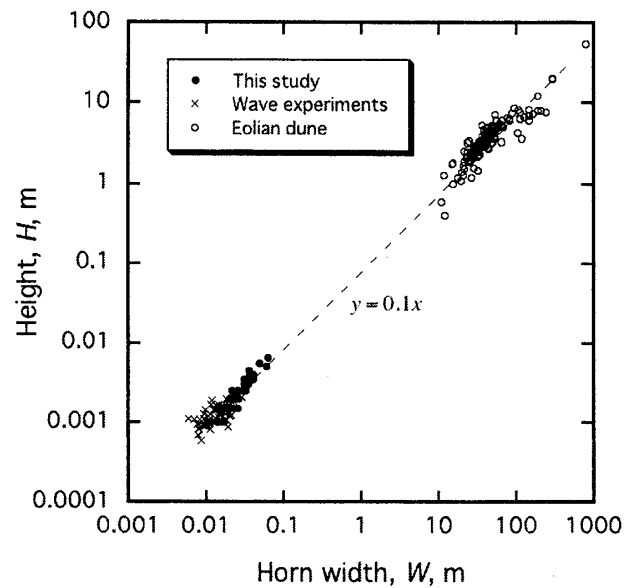


図 5

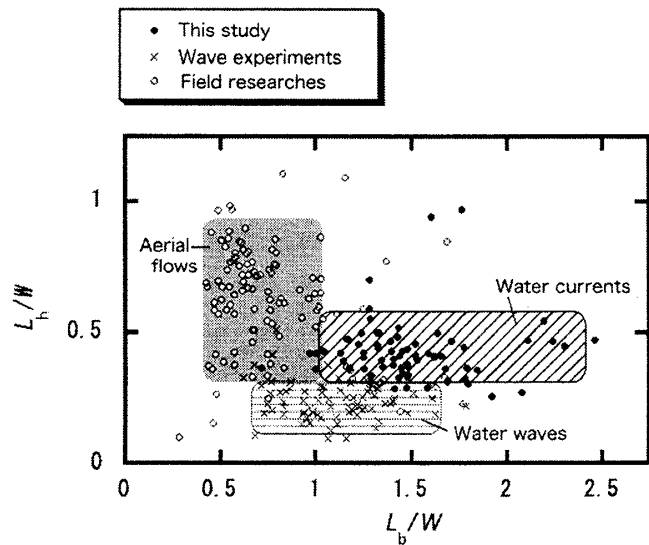


図 6

徴を推定することは可能であると言えるだろう。

結言：

流れのタイプとバルハンの形状についての関係を調べるため、一方向水流での実験を行い、振動水流での実験データと沙漠での調査報告によるデータを用いて比較した。

バルハンの幅と比高の関係は一方向水流、振動水流、風などの流れの性質・媒体を問わず、且つサイズについて4桁ほどの広い範囲にわたり、一定であった。

平面形状については、同じ水を媒体とした流れについて比較すると、一方向流でできたバルハンは、振動流でできたバルハンよりホーンが長く、胴体の長さについても長いものの割合が多かった。風成のものは胴体が短くホーンが長いものが多い傾向にあった。

参考文献：

1. Bishop MA. 2001. Seasonal variation of crescentic dune morphology and morphometry, Strzelecki-Simpson Desert, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*. 26, 783-791.
2. Khalaf FI, Al-Ajmi D. 1993. Aeolian processes and sand encroachment problems in Kuwait. *Geomorphology* 6: 111-134.
3. Bagnold RA. 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen: London.
4. Andreotti B, Claudin P, Douady S, 2002. Selection of dune shapes and velocities. Part 1: Dynamics of sand, wind and barchans. *The European Physical Journal B*, 28: 321-339.
5. Endo N, Kubo H, Sunamura T. 2004. Barchan-shaped ripple marks in a wave flume. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 31-42.
6. Finkel HJ. 1959. The barchans of Southern Peru. *Journal of Geology* 67: 614-647.
7. Long JT, Sharp RP. 1964. Barchan-dune movement in Imperial Valley, California. *Geological Society of America Bulletin* 75: 149-156.
8. Hastenrath SL. 1967. The barchans of the Arequipa region, Southern Peru. *Zeitschrift für Geomorphologie* 11: 300-331
9. Hesp PA, Hastings K. 1998. Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans. *Geomorphology* 22: 193-204.
10. Gay SP. 1999. Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Peru. *Geomorphology* 27: 279-293.
11. Sauermann G, Rognon P, Poliakov, A, Herrmann HJ. 2000. The shape of the barchan dunes of Southern Morocco. *Geomorphology* 36: 47-62.