

地球と火星のダストデビル

DUST DEVILS ON EARTH AND MARS

神戸大学理学部地球惑星科学科 地球および惑星大気研究室

伊藤 宏記

1. 導入

ダストデビル(dust devil)とは、日本語では塵旋風と呼ばれ、取り込んだダストによって可視化されたつむじ風であり、日射によって地表面付近の空気が熱せられることで発生する上昇螺旋運動をする流れである。

地球のダストデビルは、乾燥地帯での侵食作用や局地的にダストを輸送する程度であるが、火星のダストデビルは、大気へのダスト注入や「足跡」による地面のアルベドの変化によって、火星の気候に影響を及ぼしているようである。

Balme and Greeley (2006)に基づき、地球と火星のダストデビルの特徴と気候への影響についてまとめた。



図1:アメリカのネバダ州エルドラドプラヤのダストデビル。直径は約20m。ダストを大量に取り込んでいる。
Image credit S. Metzger/M. Balme/T. Ringrose, Planetary Science Institute, Tucson, and Open University, Milton Keynes.

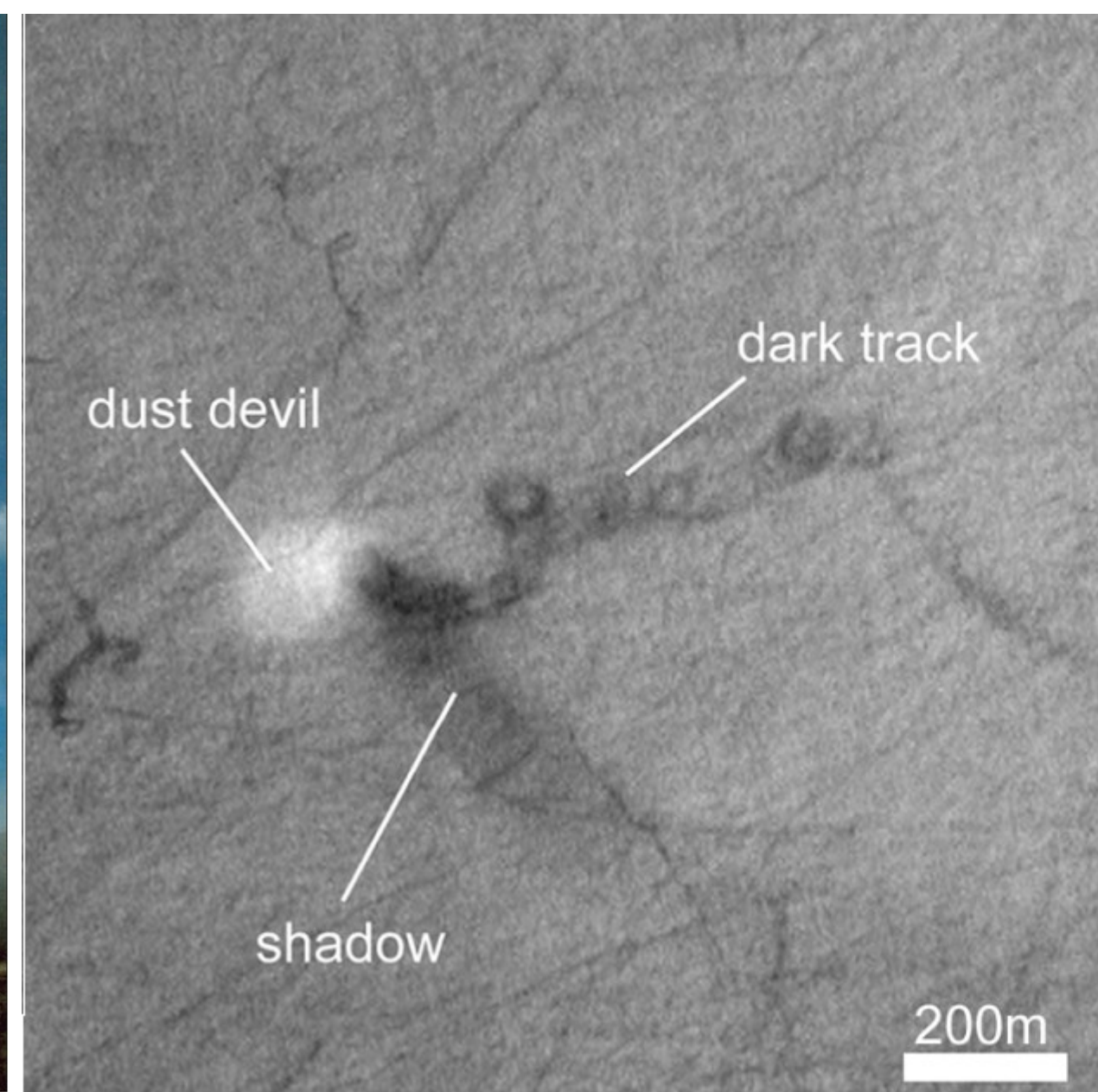


図2:火星の軌道船によって観測された直径100m程のダストデビルとその足跡。
Image credit NASA/JPL/Malin Space Science Systems.

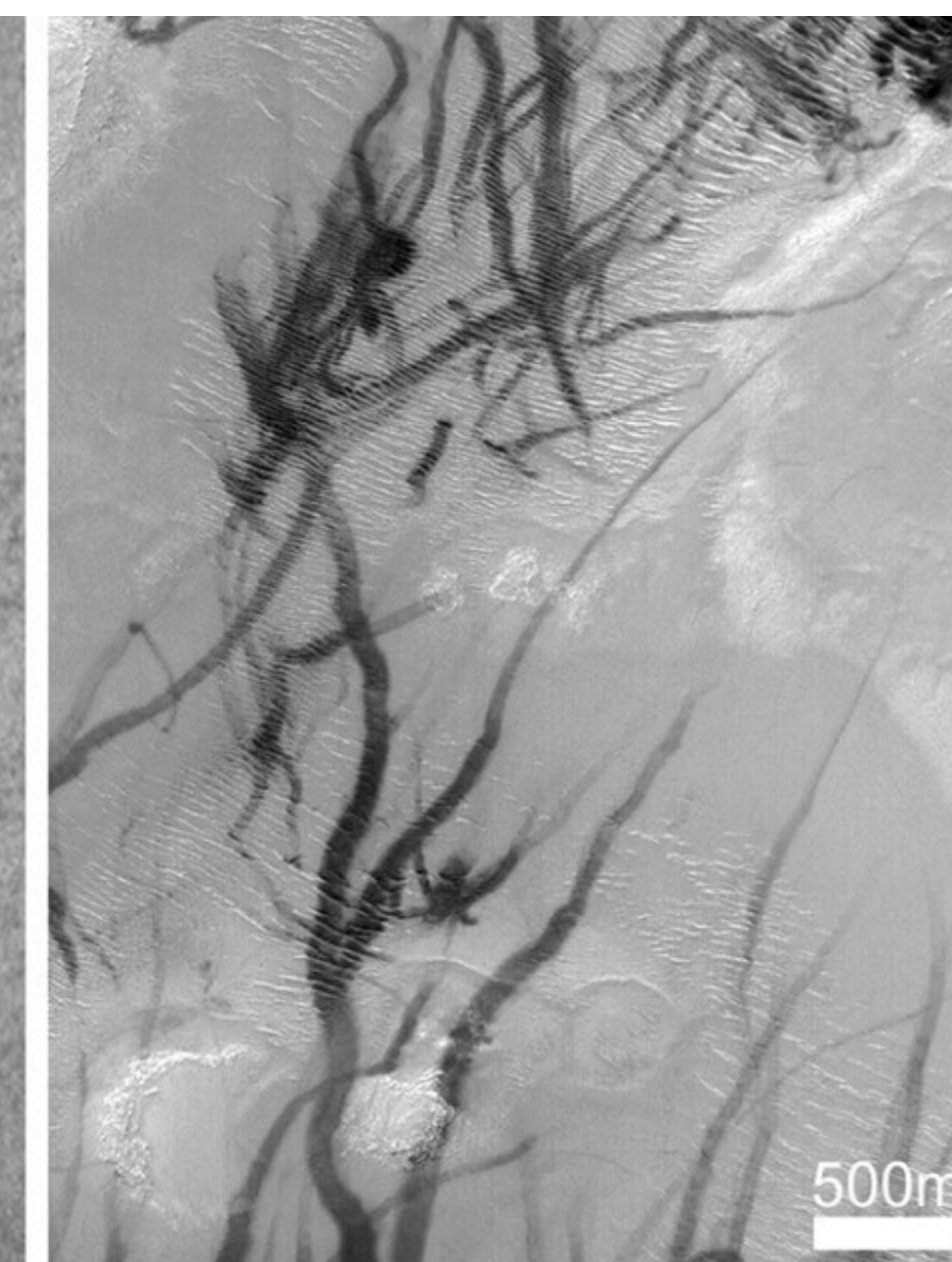


図3:波打つような砂丘上の複数のダストデビルの足跡。
NASA Planetary Image Atlas
image PIA02376 によるものである
Image credit NASA/JPL/Malin Space Science Systems

2. ダストデビルの一般的な特徴

ダストデビルは、乾燥した地域で発生しやすく、日射の強い夏に頻繁に発生する。また、ダストデビルに伴う強風によって地表面の物質を巻き上げたり、その中心部が周囲の大気より低圧となっているため掃除機のような吸い込み効果が生じ、地表面の物質の上昇に寄与しているようである。

地球と火星のダストデビルの比較

	地球	火星
直径	2 - 100m	100 - 300m
高さ	10 - 1000m	100 - 5000m
気圧低下	1 - 20hPa (0.1% - 5%)*	0.005 - 0.05hPa (0.075% - 0.75%)*
温度上昇	~10K	~5K
回転方向	特に傾向をもたない	
発生時間帯	正午前後に最も発生しやすい	

* カッコ内の数字は気圧低下と地上大気圧の割合。
地上での大気圧は地球が約1000hPa、火星が約6hPaである。

- ・地球と火星では基本的な性質は同じ
- ・火星の方がサイズが大きい

風速の構造

火星のダストデビルの風速の構造は直接観測が困難なためわかっていない。以下は、地球のダストデビルについてである。

風速の観測はたいてい地上から数mのところで行われ、接線速度 V 、動径速度 U 、鉛直速度 W やスカラー量である水平風速 $V_h = (V^2 + U^2)^{1/2}$ の大きさが用いられる。

Sinclair (1966) はダストデビルの鉛直構造を右図のように3つの領域に分類している。

REGION 3
ダストデビルの頂上の部分。回転が弱まりダストが周囲に放出される。

REGION 2
周囲の大気とダストデビルの円柱の間でのダスト交換が行われず鉛直のダスト円柱を形成する。

REGION 1
地面との摩擦によって角運動量が失われ放射状流入が起きる。

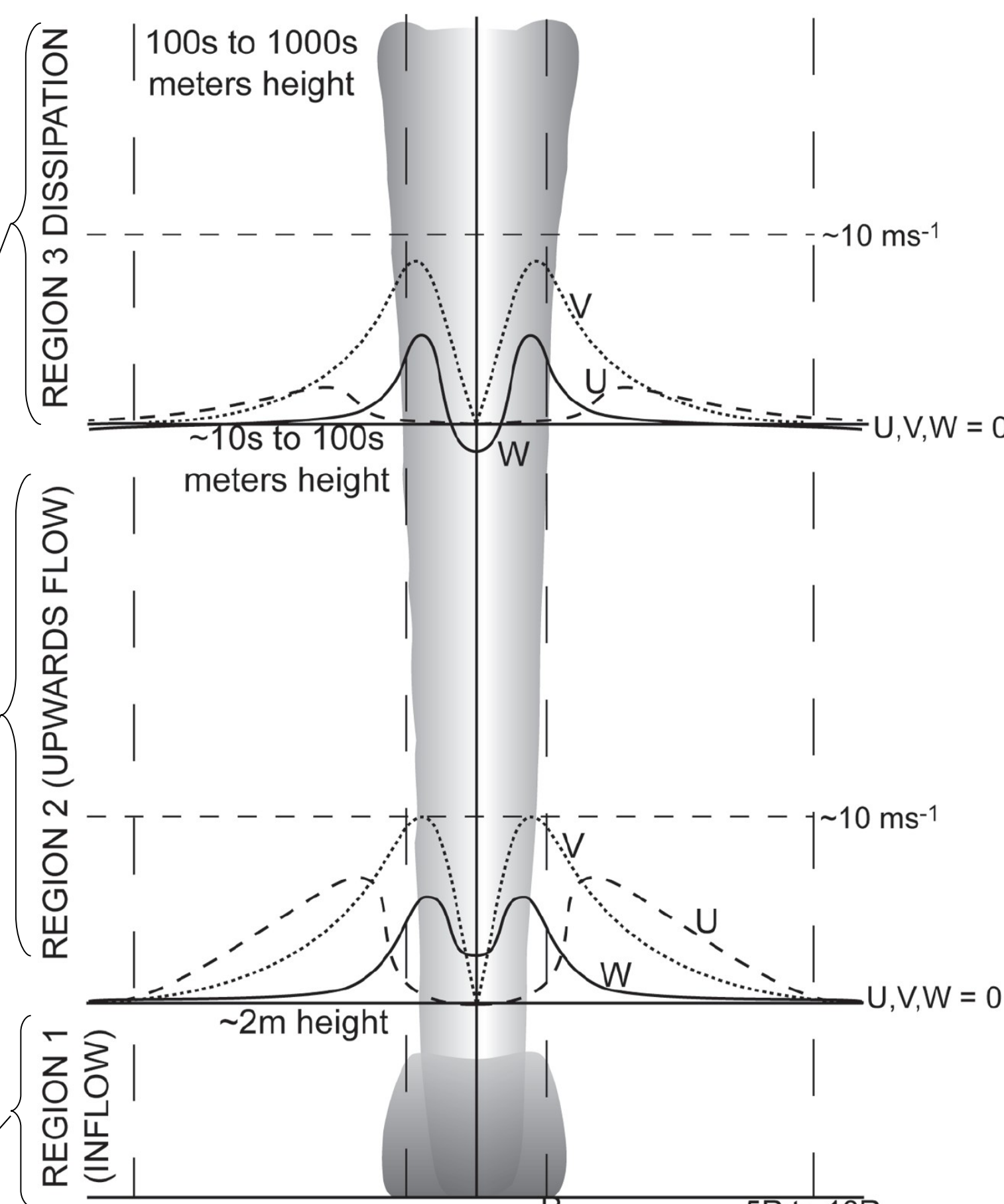


図4:地球のダストデビルの風速の構造を一般化したもの。縦軸は高さ、風速の大きさを、横軸は水平距離を表している。 W の構造は一般的であるかわかっていない。(Balme and Greeley, 2006)

3. 形成要因

ダストデビルは、地表面への日射によって大気が不安定な層を成し、強い対流を招くような超断熱減率が生じるときに形成する。

ダストデビルの発生に必要な状況

- ・大気の超断熱減率
- ・ダストの供給
- ・渦度のソース

また、ダストデビルは孤立した対流現象ではなく、むしろ局所的な対流システムの一部を形成しているようである

渦度のソース

- (1) 特徴的な地形により生じる渦度
- (2) 水平渦度が鉛直面に傾くことによる渦度

平坦な地域で背景風の弱い状況で発生するダストデビルの渦度は(2)によるものである。

(例えば、冷たい空気と暖かい空気の逆転によって発生する大気の水平渦度が対流によって鉛直に傾けられ鉛直渦度が生じる。)

4. 地球と火星の気候への影響

地球

局地的なダスト輸送に寄与し、乾燥地帯では地表面を侵食する程度である。

火星

火星の大気中には常にダストがある程度以上存在しており、ダストは太陽光を吸収して温まり、その熱で大気を温めている。ダストデビルは地表面からダストを巻き上げ大気に注入することによって、浮遊するダストの量を維持することに寄与しているようである。

また、ダストデビルの「足跡」(図3)により地表面のアルベドが変化することによって火星の気候に影響を及ぼしているようである。

この火星の気候への影響を見積もるために、室内実験や数値シミュレーションによる研究が行われており、ダストデビルを再現できるほどの高解像度をもつ数値モデルをGCM(General Circulation Model)に組み込むことが試みられている。また、火星ではどの地域でどれほどのダストデビルが発生しているかがあまり把握されておらず、これからの更なる観測が必要とされている。

5. まとめ

地球と火星のダストデビルは、大きさは火星のものの方が大きいですが、温度上昇、圧力低下を伴い、回転方向の傾向を示さない点、昼前から昼過ぎの時間帯に発生しやすい点でも同様である。

地球のダストデビルは局所的にダストを輸送する程度だが、火星のダストデビルは、定常的に存在する大気のかすみを維持するのに寄与しており、足跡による地表面のアルベドの変化を通して火星の気候に影響を及ぼしているようであり、室内実験や数値シミュレーションによってダストデビルの影響の完全なモデルを構築することが求められている。

6. 参考文献

- ・Balme, M., and R. Greeley, 2006 : Dust devils on Earth and Mars, *Rev. Geophys.*, **44**,RG3003,doi:10.1029/2005RG000188.
- ・Sinclair, P. C., 1966 : General characteristics of dust devils, Ph.D. thesis, Univ. of Ariz., Tucson.