

# 火星ダストの気象学

小高 正嗣, 林 祥介 (北大・理)

## 1. はじめに

火星の気象を特徴付ける要素は大気中に存在するダストである。マリナー 9 号以降の探査衛星観測により、大ダストストーム、塵旋風 (dust devil) などのダストにともなう様々な大気現象が明らかにされてきた。本講演では観測データおよび数値モデルを用いたこれまでの様々な研究を基に、火星気象におけるダストの役割について概観する。特に注目する現象は惑星全体がダストに覆われる大ダストストームである。

## 2. 観測事実の概観

火星大気は温度圧力範囲は地球大気の上部成層圏と中間圏のそれにだいたい一致する (Zurek, *et al.*, 1992)。平均地表気圧は 6 hPa で、大気量は地球大気のおよそ 1/100 である。パイキングによって観測された地表気圧は 7 から 10 hPa まで季節変化を示す (Snyder, 1979)。これは大気主成分である CO<sub>2</sub> が冬極で凝結、夏極で昇華するためである。観測される大気下層の鉛直温度勾配は乾燥断熱減率に比べ小さい (Davis, 1979)。これは大気中のダストの放射吸収にともなう加熱のためと理解されている。気温の子午面分布はパイキング、マーズグローバルサーベイヤー等の火星周回衛星のリモートセンシングによって得られる (Smith *et al.*, 2001)。温度風の式を用いて見積もられた東西風の分布には、夏半球の偏東風と冬半球の偏西風の存在が確認される。大気中の水蒸気量は可降水量にして 1 ~ 10  $\mu\text{m}$  のオーダであり (Jakosky and Haberle, 1992)、その凝結加熱は放射加熱に比べ無視できるため循環構造にほとんど影響しない (Zurek, *et al.*, 1992)。

火星大気中のダスト量は、可視光に対する光学的厚さにして平常時には 0.3 程度、ダストストーム発生時は最大 5 前後になる (Pollack *et al.*, 1979)。ダストストームはその空間スケールによって便宜上 3 種類に分類されている。塵旋風などの水平スケール 2000 km 以下の局所的ダストストーム、水平スケールが 2000 km 以上 10,000 km 以下の領域的ダストストーム、そして 10,000 km 以上の空間スケールを持ち、惑星全体がダストに覆われる大ダストストームである (Kahn *et al.*, 1992)。マーズグローバルサーベイヤーの観測によれば、局所的ダストストームは半年で 700 回前後の頻度で発生している (Cantor *et al.*, 1999)。領域的ダストストームは極冠付近でしばしば観察される。大ダストストームはこれまでに数える程しか観測されていない。昨年マーズグローバルサーベイヤーによって観測された大ダストストームは、マリナー 9 号による観測以来最大規模のものである。大ダストストームは南半球の春から夏

にかけて発生する。大ダストストームが発生すると、大気の循環構造はダストの放射加熱によって変化する。大ダストストーム時に観測される極夜昇温 (Martin and Kieffer, 1979) は、子午面循環下降域の断熱加熱が強められたために起こると考えられている。

## 3. 数値モデル研究の現状と課題

観測された火星の気象を理解するために、鉛直 1 次元モデルから大気大循環モデル (GCM) まで様々な数値モデルを用いた研究が行われてきた。大気平均構造に関する基本的な理解は 1960 年代末から 70 年代の鉛直 1 次元放射対流モデルを用いた研究によって得られた (Gierasch and Goody, 1968; Pollack *et al.*, 1979)。火星 GCM は 1969 年に NASA によって開発が始められ、1981 年の発展版を経て 1990 年にほぼ完成した (Leovy and Mintz, 1969; Pollack *et al.*, 1981; Poolack *et al.*, 1990)。現在の火星 GCM は観測される基本的な循環構造を再現することができている (例えば Takahashi *et al.*, 2002: 図 1)。マーズグローバルサーベイヤーによって時間空間分解能の高い観測データが得られたことにより、GCM を用いた火星の天気予報は実現可能な目標となりつつある。火星 GCM が成功している理由は、結果として地球大気 GCM における経験の多くをあまり修正することなく利用可能であったためである。

現在の火星 GCM の持つ最大の問題点は、大ダストストームの発生を再現することができていないことである。モデル大気中のダスト量が多い場合には大規模場の風が強くなり地表からのダスト供給を維持することができる。しかしダストがない場合もしくは少ない場合に大規模場の風が弱くなり地表からダストを供給することができない (Wilson and Hamilton, 1996)。この原因の一つとして GCM では直接計算することができない局所的な循環が地表からのダスト供給に寄与しているためと考えられている。そのようなスケールの循環を計算対象とするメソスケールモデルを用いた研究によれば、km サイズの鉛直対流にともなう地表風は 20 m/sec を超え、地表風から計算される地表摩擦はダスト巻き上げに必要な大きさに達することが示されている (小高 他, 2002: 図 2)。1 次元モデルから GCM までの階層的な数値モデル群を利用することにより、火星におけるダストの気象を様々な観点から理解することができるようになるだろう。

## 謝辞

東北大学理学研究科地球物理学専攻の高橋芳幸氏には貴重な計算結果の図版を提供して頂きました。

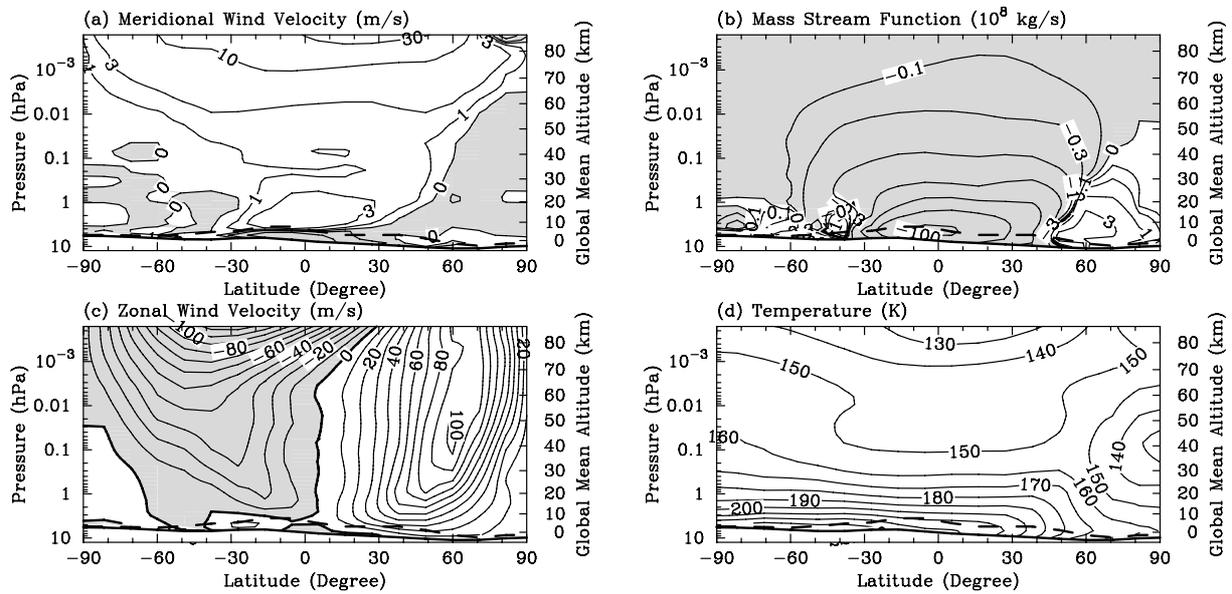


図 1: 火星大気大循環モデルで計算された北半球冬 ( $L_s=249-290$  の平均) における東西平均循環の子午面分布 (東北大学 高橋芳幸氏の厚意により提供). 各図の負の値を持つ領域にトーンをかけてある. (左上) 南北風. 北風を正. (右上) 質量流線関数. 時計回り循環を正. (左下) 東西風. 西風を正. (右下) 気温.

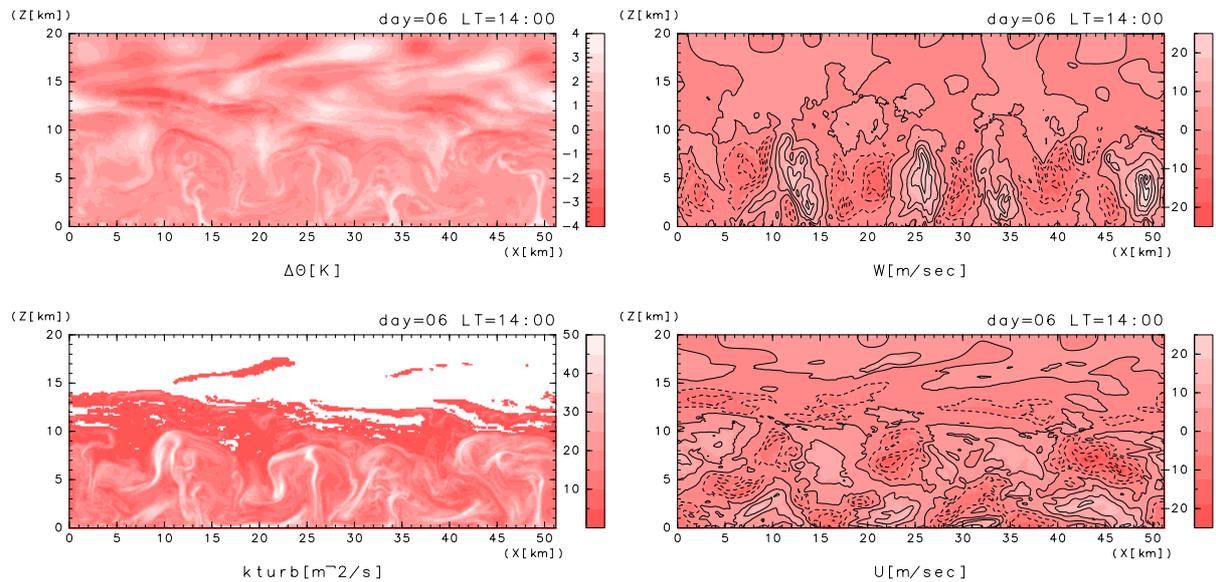


図 2: 2次元非弾性モデルによって計算されたダストのない場合の日中における鉛直対流の様子 (小高 他, 2001 より引用). 各図の横軸は水平距離, 縦軸は鉛直高度を示す. (左上) 温位の水平平均値からの偏差. (左下) 乱流拡散係数.  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$  以上の値に配色. (右上) 鉛直風. (右下) 水平風. 等値線は風速について  $5 \text{ m}/\text{sec}$  毎に表示.

## 参考文献

Cantor, B. A., P. B. James, M. Caplinger, and M. J. Wolff, 2001: *J. Geophys. Res.*, **106**, 23653–23687.

Davis, D. W., 1979: *J. Geophys. Res.*, **84**, 8335–8340.

Gierasch, P., and R. M. Goody, 1968: *Planet. Space Sci.*, **16**, 615–636.

Jakosky, B. M., and R. M. Haberle, 1992: in *Mars*(Kiffer, H. H. et al., eds.), University of Arizona Press, Tucson, 969–1010.

Kahn, R. A., T. Z. Martin, R. W. Zurek, and S. W. Lee, 1992: in *Mars*(Kiffer, H. H. et al., eds.), University of Arizona Press, Tucson, 1017–1053.

Leovy, C., and Y. Mintz, 1969: *J. Atmos. Sci.*, **26**, 1167–1190.

Martin, T. Z., and H. H. Kieffer, 1979: *J. Geophys. Res.*, **84**, 2843–2852.

小高正嗣, 中島健介, 石渡正樹, 林祥介, 2001: ながれマルチメディア 2001, <http://www.nagare.or.jp/mm/2001/odaka/>.

Pollack, J. B., D. S. Colburn, F. M. Flasar, R. Kahn, C. E. Carlston, and D. Pidek, 1979: *J. Geophys. Res.*, **84**, 2929–2945.

Pollack, J. B., C. B. Leovy, P. W. Greiman, and Y. Mintz, 1981: *J. Atmos. Sci.*, **38**, 3–29.

Pollack, J. B., R. M. Haberle, J. Schaeffer, and H. Lee, 1990: *J. Geophys. Res.*, **95**, 1447–1473.

Smith, M. D., J. C. Pearl, B. J. Conrath, P. R. Christensen, 2001: *J. Geophys. Res.*, **106**, 23929–23945.

Snyder, C. W., 1979: *J. Geophys. Res.*, **84**, 8487–8519.

Takahashi, Y. O., H. Fujiwara, H. Fukunishi, M. Odaka, Y.-Y. Hayashi, and S. Watanabe, 2002: *J. Geophys. Res.*, accepted.

Wilson, R. J., and K. Hamilton, 1996: *J. Atmos. Sci.*, **53**, 1290–1326.

Zurek, R. W., J. R. Barnes, R. M. Haberle, J. B. Pollack, J. M. Tillman, and C. B. Leovy, 1992: in *Mars*(Kiffer, H. H. et al., eds.), University of Arizona Press, Tucson, 835–933.