

火星大気大循環モデルを用いたダスト巻上げとその風の 応答に関する研究

門脇正尚^{1,2},

A. S. Medvedev², P. Hartogh², 高橋正明¹

1.大気海洋研究所 東大理

2,Max-Planck Institute for Solar System Research, Germany

1.はじめに

火星大気中にはダストと呼ばれる微粒子が存在している。ダストは太陽光を吸収・散乱することで火星大気の熱的な構造を維持する役割をもつ。過去の観測からダストストームと呼ばれる砂嵐が火星大気中に存在することが知られており、火星南半球夏の季節にその活動が顕著である。ダストストームは水平 1000km 以下の局所的な規模から火星全球を覆う惑星規模までスケールは様々である。惑星規模のダストストームは局所的なダストストームを初期段階として、全球規模のダストストームへと時間発展する。一方で全球規模へと発達しないダストストームも存在する。こうした時間発展の原因は明らかにされておらず、その発生メカニズムを知る手掛かりとしてダストの巻上げや輸送に影響する風の変動を知ることは重要である。そこで本研究では惑星規模のダストストームの発生によって風がどのように変化するかを調べるために数値モデルを用いた実験を行った。

2.モデル

実験に用いた火星大気大循環モデルは CCSR/NIES AGCM5.6m をベースに、二酸化炭素の凝結・昇華過程、二酸化炭素とダストのそれぞれの放射過程、大気中へのダスト供給過程、ダスト粒子の重力沈降を考慮している。地表面のデータとして熱慣性、地面粗度、地面アルベド、地形を導入した。水平分解能は T21 (水平約 333km × 333km)、鉛直 30 層で最上層は約 80km である。本研究ではダストの供給過程として次の 2 つの方法を用いた。

1. 地表面ダストフラックスを強制
2. 地表面の風応力が閾値を超えた場合にダスト供給

惑星規模のダストストームを再現する為に 1 の方法では南半球夏季の時期にヘラス盆地にダストフラックスを強制した。本研究で与えた地表面のダストフラックスの時間一緯度を図 1 に示す。2 の方法では Newman et al.,2002 をもとに地表付近の風が地面に与える応力がある閾値を超えた場合にダストが供給されるとした。本研究では閾値を 0.05N/m とした。尚、背景場のダストの時空間分布を再現するために 1 と 2 の実験それぞれに Newman et al.,2002 のダストデヴィルのパラメタリゼーションを導入

している.

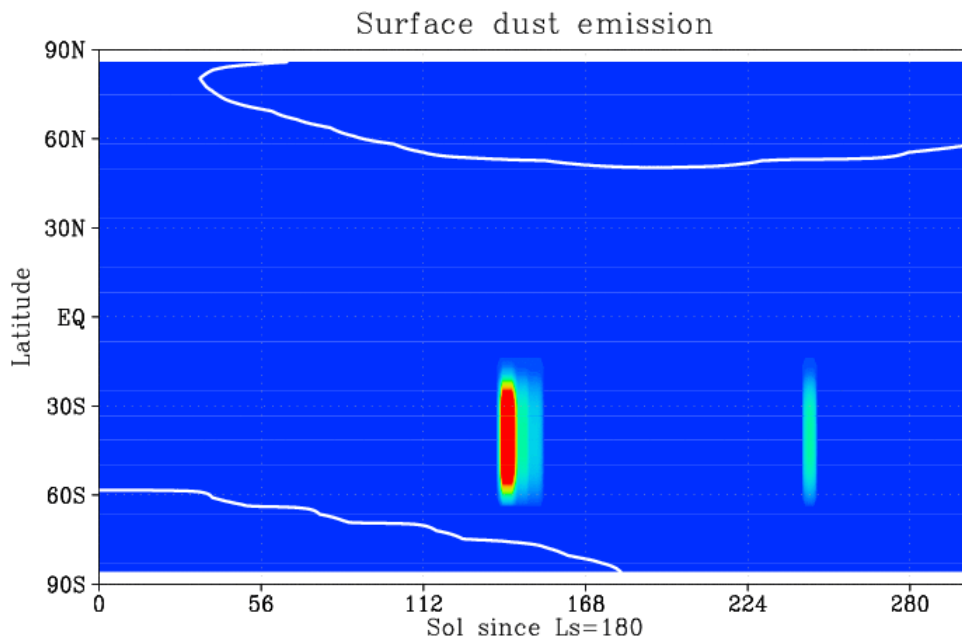


図1 強制した地面ダストフラックスの時間-緯度. 横軸は $L_s=180$ からの1火星日. 白の実線は極冠の縁を示す.

3.実験結果

3.1 ダストフラックスを強制した実験

ダストフラックスを強制した実験のダストの光学的厚さの時間-緯度, 帯状平均した温度の緯度-高度断面をそれぞれ図2と図3に示す. 図3の左図はダストフラックスを与える直前, 右図はダストの光学的厚さがピークとなった $L_s=271$ を示す. ダストフラックスを強制した実験では 0.1mb 付近で約 40K 大気温度が上昇. 一方で地表付近は 90S から赤道の範囲で約 10K 大気温度が下がった. また 90S-30S ではダストストーム発生前は弱い西風であったのが, 光学的厚さ上昇時には東風となった. ダストストーム発生前の 1mb 高度以上の赤道付近の東風も加速を受けた. こうした高高度の 40K 以上の温度上昇と地表面付近での約 10K の温度下降は惑星規模のダストストーム時に観測されている.

これらの東西風の加速減速を調べるために波数1成分と波数2成分の EP フラックスの発散収束を求めた(図4). ダストフラックスの強制を与えてから4火星日後の144日目(図4横軸メモリ $L_s=180$ からの日数)で0.2mb 付近で波数1, 波数2ともに強い収束が見られる. また地表付近の波活動に注目すると148日目に大気下層から上向きに伝播する波数1の波の収束が1~2mb の高度で見られる.

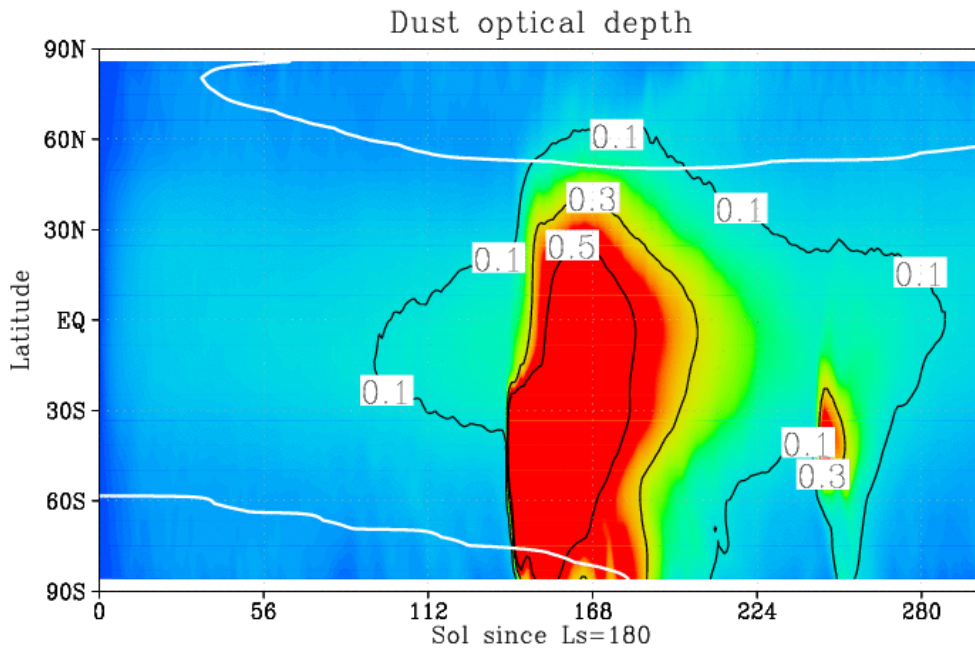


図2 ダストの光学的厚さの時間-緯度. 横軸は $L_s=180$ からの1火星日. 白の実線は極冠の縁を示す.

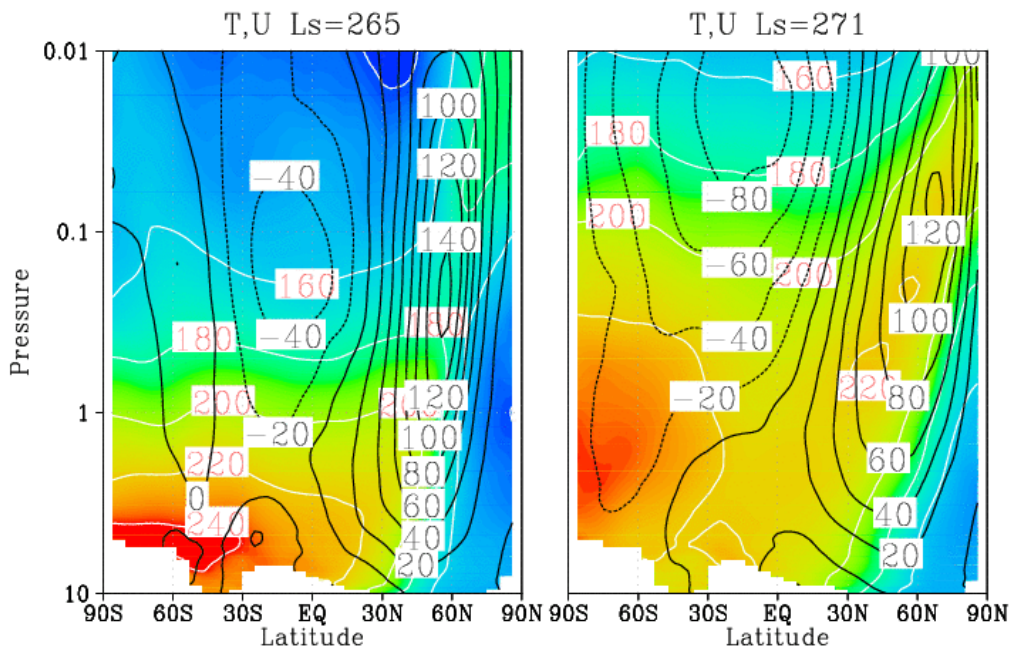


図3 帯状平均した温度(カラー)と風(黒コンター, 西風を正)の緯度-高度断面. $L_s=265$ (左) $L_s=271$ (右)

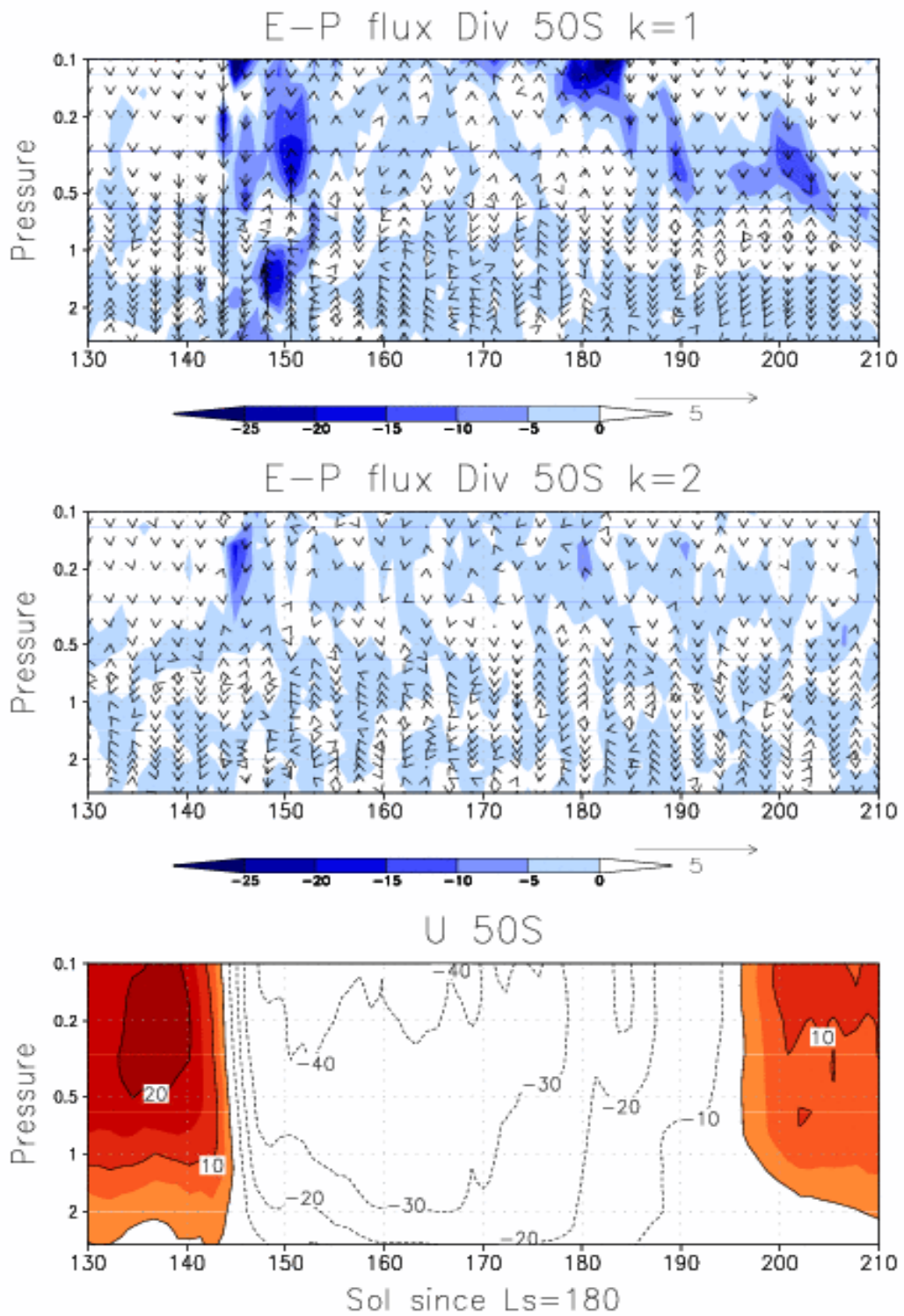


図4 波数1成分と波数2成分のEPフラックスの発散(色), 各波数成分のEPフラックス(矢印)
 帯状平均した東西風(下) 東西風は西風を正とする. 横軸は Ls=180 から数えた日数. 緯度は 50S.

ダストフラックスを強制したヘラス盆地の風応力, リチャードソン数, 地表面風速の時系列を図 5 に示す. 地表付近ではダストフラックスを与えた直後(横軸 140)に地表風速は 10m/s になった. ダストの巻上げに伴い, 大気と地面間のリチャードソン数は一時的に正になったが地表面風速のピークでマイナスとなったと同時にマイナスの値をとった. 地表面への風応力は風速の上昇に伴い強化されたが, 風速がダストストーム発生前に戻ると非常に弱くなった.

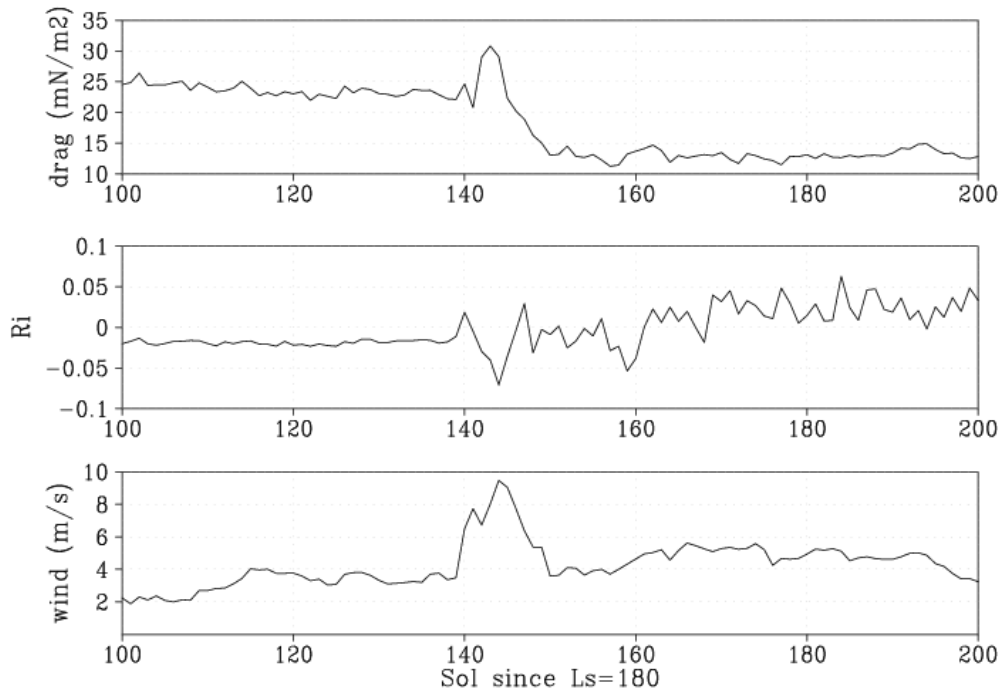


図 5 風応力(上), リチャードソン数(中), 地表面風速(下)の時系列. 横軸は Ls=180 からの日数.

3.2 ダストの巻上げを予報した実験

ダストの巻上げをモデル内で計算した実験の地面のダストフラックスの緯度-時間を図 6 に示す. ダストの巻上げは 30S 周辺で強く, 南半球夏至付近でピークをとった. また北半球中緯度では約5日毎にダストの巻上げが生じている結果が得られた. 巻上げ周期からしてこの 5 日周期の巻上げは秋冬極の高緯度で卓越する傾圧波が原因の風によるもの考えられる. 地域別の巻上げに注目すると, 山岳域の南側斜面やヘラス盆地の東側斜面でダストの巻上げが見られた. ただ今回の実験では観測で得られたような局所規模のダストストームが惑星規模のダストストームへ発展していく様子やダストの光学的厚さの急上昇といった様子はモデル内では再現されなかった.

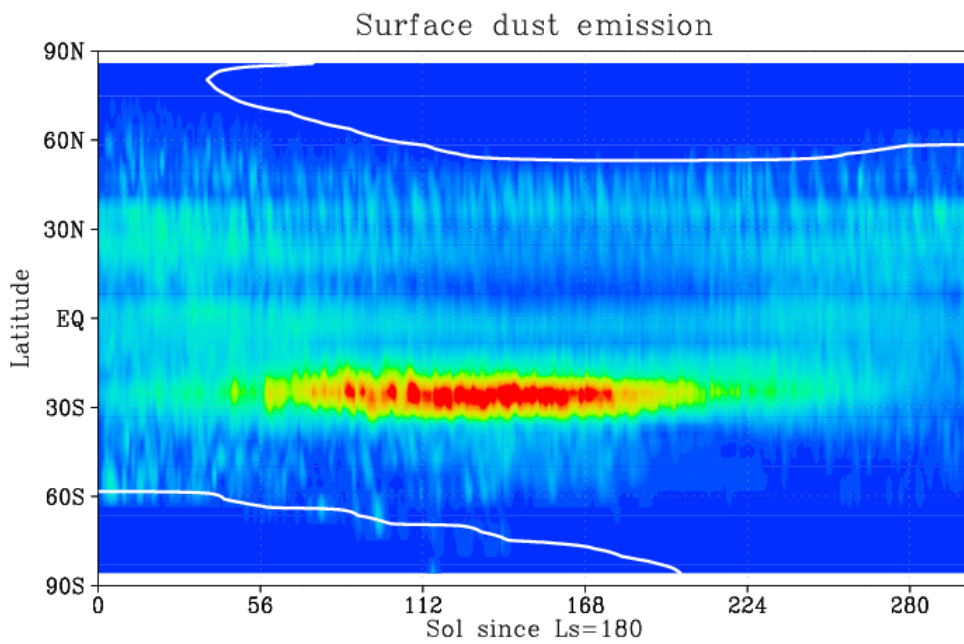


図 6 予報された地面ダストフラックスの時間-緯度. 横軸は $L_s=180$ からの 1 火星日. 白の実線は極冠の縁を示す.

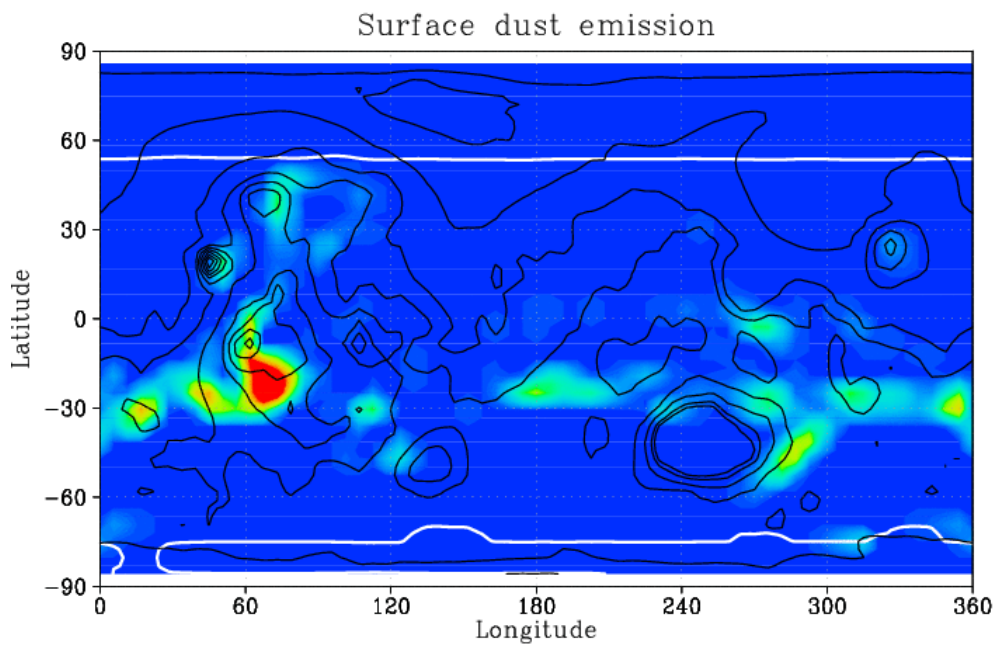


図 7 予報された地面ダストフラックス. 時期は $L_s=270$. 白の実線は極冠の縁を示す.

4.まとめ

惑星規模のダストストームの発生によって風がどのように変化するのかを調べるために火星大気大循環モデルを用いた実験を行った。ダストの巻上げを強制した実験ではダストの巻上げ直後から南半球では東風加速。大気下層から伝播する波数1の波活動がその東風加速に強く影響していた。地表付近の風はダスト巻上げ直後に強くなったが10日ほどでダスト巻上げ前の風速に戻った。この結果は惑星規模のダストストームは局所的なダストストームが発生した場所でダストを供給され続けることで成長するのではないことを示唆する。