

火星の大気中の熱潮汐波による循環とダスト輸送に対する効果

Effects of Thermal Tides in the Martian Atmosphere on the Zonal Mean Circulation and Dust Transport

高橋 芳幸[1], 藤原 均[2], 福西 浩[3]

Yoshiyuki Takahashi[1], Hitoshi Fujiwara[2], Hiroshi Fukunishi[3]

[1] 東北大 理, [2] 東北大学大学院理学研究科, [3] 東北大・理・地物

[1] Science, Tohoku Univ., [2] Graduate School of Science, Tohoku University, [3] Department of Geophysics, Tohoku Univ.

火星大気中に励起される熱潮汐波は地球のそれに比べて振幅が大きいことが知られている [e.g., Hamilton, 1982]。この熱潮汐波の平均流との相互作用は、以前から多くの関心を集めてきた問題の 1 つである。しかしながら、この問題に対するこれまでの研究は、主に平均流なし、非粘性の条件での線形計算 (classical tidal theory) に基づくものであった。火星大気中の熱潮汐波は平均流の効果を受けやすいことが指摘されているため、熱潮汐波が大気循環に及ぼす効果は classical tidal theory によって見積もられたものとは大きく異なる可能性がある。また、熱潮汐波が循環を駆動した結果、ダストの輸送過程も変化することが予想されるが、実際にどのように変化するかについては調べられていない。このことから、我々は火星大気大循環モデルを用いて、火星大気中の熱潮汐波が循環とダスト輸送に及ぼす効果を調べた。本研究では、大量のダストが大気中に存在している大規模なダストストームにおける熱潮汐波の効果を調べた。

本研究で用いた火星大気大循環モデルは、プリミティブ方程式に基づくスペクトルモデルである。水平分解能は 11.25 度 (経度) × 11.25 度 (緯度) に相当する。鉛直方向には 0-120 km の高度範囲に 35 層を含む。CO₂ とダストに関わる放射過程を含む。現在のモデルはダストの輸送スキームを含み、熱潮汐波による循環の変化を通してダストの分布がどのように変化するかを調べることができる。まず始めに、簡単化のために放射過程の計算で用いるダスト分布は水平一様、時間的に一定と仮定した (全球平均の可視領域での光学的厚さ 5)。この条件下で、放射不活性なダストの輸送を計算し、その分布を調べた。放射不活性なダストの地表面での大気への入射フラックスは全球一様とした。季節は北半球の冬至とした。

上記の条件で得られた子午面循環は次のような特徴を示す。南半球の中・低緯度に上昇流を持ち北半球に下降流を持つ赤道を横切る循環が形成されるとともに、南半球の中・高緯度の高度約 30 km 以下では南半球高緯度に下降流を持つ逆向きの循環が形成される。東西方向の運動方程式における力のバランスを調べてみると、この南半球の中・高緯度における子午面循環では熱潮汐波による東西加速が重要であることがわかった。実際に、モデルに日平均加熱を与えることで熱潮汐波が励起しないようにして計算を行うと、南半球の中・高緯度の高度約 30 km 以下では前述の循環は形成されない。

放射不活性なダストの分布を調べてみると、南緯 60 度から北緯 45 度までの領域で、鉛直方向には高度約 40 km 付近まで分布する。このダストの鉛直方向の広がり、ほぼ子午面循環によるダストの鉛直輸送と、ダストの重力沈降のバランスで決まっていると考えられる。ダスト分布の北限はダスト分布の上端を通る流線が達する北限の緯度とおよそ整合的である。ダスト分布の南限は、南半球で熱潮汐波によって駆動される循環の輸送効果によって決定されている。つまり、熱潮汐波によって駆動される子午面循環に伴う下降流のため、南半球の高緯度ではダストはすぐに地面に落とされてしまうと考えられる。

Mariner 9, Viking による観測から、大規模なダストストームの減衰時期に高緯度の方が低緯度よりもダストが早く減少することが報告されている [Anderson and Leovy, 1978; Martin and Richardson, 1993]。これは、Zurek [1976] の classical tidal theory の結果に基づき、熱潮汐波によって生じる乱流による混合か、熱潮汐波によって駆動される循環のためであると考えられてきた。本研究の結果は、熱潮汐波が駆動する子午面循環によって高緯度では積極的にダストを大気中から落としていることが原因であると考えられる。さらに、南半球高緯度の循環は南半球中・高緯度のダストを低緯度に輸送する働きをもつ。このことは、熱潮汐波によって駆動される循環が、大規模なダストストーム後に南半球高緯度に堆積するダスト量に影響を及ぼす可能性を示唆している。