

大気大循環モデルを用いた太陽フレアによる極端紫外線増大に対する火星熱圏の応答

Response of the Martian thermosphere to the EUV flux enhancement during solar flare events with a GCM

市川 義則¹, 藤原 均², 笠羽 康正^{1*}, 寺田 直樹¹, 寺田 香織¹, 星野 直哉¹

ICHIKAWA, Yoshinori¹, FUJIWARA, Hitoshi², KASABA, Yasumasa^{1*}, TERADA, Naoki¹, TERADA, Kaori¹, HOSHINO, Naoya¹

¹ 東北大学 惑星大気物理学分野, ² 成蹊大学 理工学部

¹Dept. Geophys. Tohoku Univ., ²Faculty of Science and Technology, Seikei University

惑星超高層大気は外気圏と惑星の下層大気との境界領域に位置し、太陽放射や太陽風との相互作用による大気流出が起きている [Vaille et al., 2009]。火星超高層大気においては、シミュレーション、観測結果がともに多く存在し、また、大気散逸は次期火星探査ミッション計画における重要なテーマとなっている。しかし、日本ではこれまでに火星超高層モデルは存在しなかった。そのため、火星の超高層大気モデルを開発し、大気散逸に結び付く物理機構を解明する意義がある。

現在の太陽活動状態では、火星における大気散逸過程は熱圏・電離圏で生成される O₂⁺ の解離再結合が主要なプロセスであると認識されており、それによって生成される非熱的酸素 (O*) が外気圏でコロナを形成しつつ散逸していると考えられている [Vaille et al., 2009]。そのため、O* の散逸量を正確に見積もるためには外気圏における O* の空間分布だけではなく、熱圏・電離圏における O₂⁺ の振舞いに対する理解も必要とされる。これまでに、太陽活動極小期・極大期変動による太陽放射フラックス変動に対する熱圏・電離圏における温度、風速、組成比が大きく増大することが確かめられている [Bougher et al., 1991]。一方、近年の Mars Global Surveyor (MGS) の観測により、太陽フレア時によって火星電離圏が激しく変動する様子が示された [Mendillo et al., 2006]。これより、火星熱圏においても太陽 X 線・EUV フラックスの短時間変動によって温度や組成が大きく変動し得ることが示唆される。また、先行研究では、太陽フラックスを極小期から極大期における値にまで瞬時に上げた時の、熱圏の温度の時間応答を調べた研究がなされている [Bougher et al., 1999]。この研究では、惑星の熱圏において主要な冷却過程が異なることによって、熱圏の時間変動に変化が現れることが示されている。これより、太陽フレアによる太陽フラックスの短時間変動に対する熱圏の応答は、惑星によって異なる時間変動を示す可能性がある。さらに、X 線・EUV フラックスが現在よりも大きかった過去の太陽活動状態においては、火星熱圏の温度は現在よりもはるかに大きかったと示唆されている [Vaille et al., 2010]。過去の太陽フレアは現在よりも規模が大きかったとされているため、異なる温度場の条件下においては、太陽フレアによる変動も大きく変わることが予想される。

本研究では、火星熱圏大気大循環モデルを開発し、太陽フレアによる太陽 X 線・EUV 強度の短時間変動に対する火星熱圏の応答を調べた。その結果、以下のことが分かった。

1. 本研究で再現した規模の太陽フレア (X17.2) による火星熱圏の温度は、太陽直下点での exobase において定常状態 (高度 189 km、温度: 205 K) からそれぞれ 7% (13 km) と 20% (42 K) 増大した。これは、本研究で再現した太陽活動極小期・極大期変動に比べて約 50% の変動率であった。

2. 火星と金星のフレア応答を比較すると、火星熱圏の exobase の温度はフレア発生から 2 時間後に最大値となり、増大率は 20% (42 K) であった。また、最大時から元の温度に戻るまでの時間は 9 時間であった。一方、金星熱圏の exobase の温度はフレア発生から 1 時間 15 分後に最大値となり、増大率は 31% (63 K) であった。また、最大時から元の温度に戻るまでの時間は 3 時間であり、金星の温度は火星に比べて変動率は大きい、収束する時間は早いことが示された。これは、冷却率の変動が火星と金星とで大きく異なるためである。

3. X 線・EUV/UV フラックスを各波長域において 2 倍から 20 倍増大した太陽活動度での火星熱圏を再現し、現在と同じ規模の太陽フレア (X17.2) による熱圏の応答を調べた。その結果、exobase における温度は 59% (205 K) 増大し、現在のフレア応答に比べて約 3 倍大きい変動率が示された。

キーワード: 火星, 熱圏, 太陽フレア, 金星

Keywords: Mars, thermosphere, solar flare, Venus