

初期地球型惑星大気における流体力学的散逸と太陽フレアの影響 Hydrodynamic escape from early terrestrial atmospheres and effects of solar flares

古橋 尚典¹, 寺田 香織¹, 佐々木 貴教², 関 華奈子³, 藤原 均⁴, 寺田 直樹^{1*}, 笠羽 康正¹

Naomichi Furuhashi¹, Kaori Terada¹, Takanori Sasaki², Kanako Seki³, Hitoshi Fujiwara⁴, Naoki Terada^{1*}, Yasumasa Kasaba¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東京工業大学大学院理工学研究科, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ⁴ 成蹊大学理工学部

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ⁴Faculty of Science and Technology, Seikei University

現代の地球型惑星の大気や表層に存在する水量は、原始大気や惑星集積末期に集積した物質に含まれていたと考えられる水量と比べて非常に少ない。この多量の水の消失を説明するためには、大規模な宇宙空間への散逸や地殻・マントルへの取り込みが必要となる。いくつかある散逸過程の中でも、流体力学的散逸は、大規模な大気散逸を引き起こすメカニズムであり、初期惑星大気の進化に大きな影響を与えたと考えられている。本研究は、流体力学的散逸が、初期地球型惑星大気の進化に及ぼす影響を定量的に評価し、また、太陽フレアが流体力学的散逸に及ぼす影響を調査することを目的とする。流体力学的散逸は、中性ガスの熱的散逸の一種であり、惑星大気が太陽からの強いX線や極端紫外線(EUV)放射を受けることによって膨張し、上向きのフラックスを持つことで発生する。一方、太陽フレアは、X線やEUV放射の急激な増加を伴い、惑星の超高層大気を一時的に加熱する。太陽系の初期(太陽年代1億年の時代)には、現在の太陽フレアよりも2桁ほど大きな規模のフレアが1日に数回発生していたことが示唆されており(Audard et al., 1999)、太陽フレアが初期惑星大気の流体力学的散逸に及ぼす影響を調べることは重要と考えられる。しかしながら既存のモデルでは、太陽フレアの影響を調査することは困難であった。例えば、Tian et al. (2008)のモデルは時間変動を追うことができず、Sasaki (2007)のモデルでは大気的主要な冷却効果や化学反応などの効果が考慮されていないなどの問題があった。そこで本研究では、地球型惑星大気の時間変動を追うことができる遷音速多成分流体力学的散逸モデルの開発を進め、その第一歩として、H₂分子単一大気に対して様々な条件を変えて散逸率や大気構造の変化を調べ、またその太陽フレアに対する応答を調べた。その結果、以下のことが分かった。

まず、地球、金星、火星の各時代(太陽年代1億年、10億年、45.6億年)において、大気構造と散逸率を調べた。その結果、流体力学的散逸にとってはEUV放射の強さよりも惑星質量の方が重要なパラメータであり、EUV放射の増大に対して、質量の重い惑星の方がより大きな影響を受けることが分かった。また、Raymond et al. (2006)によって見積もられている惑星形成期における初期水量に対して、地球ではその歴史の中で全てを散逸させることができず、火星では全散逸が可能であることが分かった。

次に、地球質量・公転軌道の条件で、太陽フレアが流体力学的散逸に及ぼす影響を調べた。太陽EUV放射は1-20nmの波長域については最大60倍、20-105nmの波長域については最大6倍増加させた太陽フレアを導入した。その結果、H₂分子単一大気の外圏底温度は1.5時間ほどで12K上昇し、フレアから8時間以上経過した後も6K程度温度は上昇したままだった。その後、元の温度に戻るまでに1週間ほどかかることが分かった。また、外圏底付近で見積もった散逸率はフレア後2時間ほどで最大に達し、元の4.0倍程度まで増大した。上端(20惑星半径の高度)付近では、1.5倍程度まで増大した。外圏および上端での散逸率は1回のフレアで10%前後の上昇が見られ、これも温度と同様に長い時定数で元の散逸率に戻るということが分かった。連続フレアを導入した場合には、温度、散逸率の蓄積効果が発生することを確認した。

キーワード: 大気散逸, 大気進化, 金星, 火星, 地球

Keywords: Atmospheric escape, Atmospheric evolution, Venus, Mars, Earth