

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 原 拓 也

論 文 題 目

Study on the roles of solar wind variations and crustal magnetic fields
in atmospheric escape from Mars based on in-situ spacecraft observations

(探査機による直接観測に基づく太陽風変動と残留磁化が火星大気流出に
果たす役割の研究)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学太陽地球環境研究所	准教授	博士(理学)	関 華 奈 子
委 員	名古屋大学太陽地球環境研究所	教 授	理学博士	草 野 完 也
委 員	名古屋大学太陽地球環境研究所	教 授	博士(理学)	平 原 聖 文
委 員	名古屋大学太陽地球環境研究所	教 授	理学博士	町 田 忍

論文審査の結果の要旨

火星は、地球のような全球的な固有磁場を持たない非磁化惑星であるが、南半球に局在化した残留磁化を持つ。非磁化惑星においては、太陽風が惑星の超高層大気と直接相互作用し、大気が宇宙空間に流出している。火星は過去に劇的な気候変動を経験したことが知られており、大気流出が火星大気進化の過程で重要な役割を果たした可能性が指摘されているが、その具体的な物理機構はよくわかっていない。本研究は、Mars Express (MEX) と Mars Global Surveyor (MGS) の両火星周回衛星の観測データを用いて、スパッタリングと磁気フラックスロープという大気流出機構に着目して、その太陽風変動と残留磁化への依存性を調べている。

スパッタリングとは、惑星周辺に高高度まで広がる酸素コロナが電離され太陽風電場で加速（ピックアップ）された後に大気に再入射することによって大気を構成する中性粒子に脱出エネルギーを超えるエネルギーを与え、主に中性大気の流出を引き起こす大気流出機構である。流出する中性粒子自身は従来の衛星観測では計測できないが、スパッタリングを駆動する惑星起源イオンの降り込みは直接観測が可能である。そこで本研究では、惑星起源イオンの降り込み現象に着目し、太陽風データとの比較から、従来の数値実験の予測では常に存在すると結論付けられていた惑星起源イオンの降り込みが、太陽風の擾乱構造の一種である CIR (Corotating Interaction Region) 構造が通過したときに限って観測されることを示した。この結果は、従来考えられていたよりもスパッタリングの発動状況が太陽風条件に大きく依存することを示唆している。また太陽風にピックアップされた水素イオンの速度分布関数の特徴から太陽風磁場の向きを推定する手法を考案し、磁力計を搭載しない MEX 衛星データから、惑星起源イオンの降り込みの太陽風電場依存性を調べることを可能とした。その結果、過去の数値実験結果から予想された、降下イオンの空間分布が対流電場に対して非対称になるという傾向が MEX 衛星観測からも確認された。さらに、惑星起源イオンの降り込みが残留磁化の弱い領域で観測されやすいことを明らかにし、残留磁化がスパッタリングによる大気流出を抑制している可能性を示した。

次に本研究では、近年発見された残留磁化構造の下流で見られる特徴的なフラックスロープ（らせん状の磁場構造）に着目し、その特性と大気流出に果たす役割について、MGS 衛星の観測データを用いて調べた。Grad-Shafranov (GS) 再現法という、衛星の 1 点観測の時系列データからフラックスロープの 2 次元構造を再現する手法を、磁場データのみを観測している MGS 衛星の観測例に適用する手法を考案することで、従来よりも詳細に空間構造の特徴を推定し、不確定性の大きかった磁気フラックスロープの大気流出への寄与をより定量的に評価することを可能とした。GS 再現法に基づく統計解析結果から、残留磁化構造の下流で見られる特徴的なフラックスロープは、他と比べて大規模な構造を持つこと、および、太陽風動圧が高いほどより頻繁に観測されることを示した。さらに、GS 再現法で得られたフラックスロープの回転軸の方向から、その形成メカニズムに惑星間空間磁場が寄与しない場合とする場合とを判別する手法を提案し、両者の比が約 2:1 であることを明らかにした。すなわち、観測されたフラックスロープのうち、約 2/3 ではフラックスロープの磁力線の足元は惑星に接続したままである可能性が高くそのままでは流出しにくいのに対し、残りの 1/3 については惑星から流出することが容易で、流出が容易なタイプのフラックスロープ 1 つに伴う大気流出量は、太陽活動極小期の大気流出量に比べて、約 1-10% にとどまることを明らかにした。

これらの研究成果は、火星探査機によるプラズマ直接観測データの解析手法を工夫して、スパッタリングと磁気フラックスロープについて、太陽風変動への応答、残留磁化への依存性を明らかにした重要な成果であり、高く評価できる。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認められる。