

太陽高エネルギー粒子が引き起こす火星のディフューズオーロラと大気光化学反応の研究

理学研究科 地球物理学専攻 博士後期課程 3年

中村 勇貴

太陽フレアやコロナ質量放出などの爆発現象が発生すると、磁気リコネクションや衝撃波面によって数 keV~数 GeV まで加速された太陽高エネルギー粒子(SEP)が惑星間空間に放出される。SEP が惑星大気に降り注ぐと、その高いエネルギーにより惑星表層付近まで大気分子を電離・解離・励起し、大気に様々な影響を与える。例えば、地球極域では、電子密度の上昇による電波障害が発生し、極冠グローと呼ばれるオーロラが発光し、光化学反応を経て水素酸化物や窒素酸化物の密度が増大することでオゾン密度が減少する。

では火星大気は SEP に対してどのような応答をするだろうか。火星には地球のような固有磁場がなく、大気は二酸化炭素が主成分で組成が異なるため、地球とは異なる応答をする。近年、SEP 到来に伴い火星夜側全域で発光するディフューズオーロラが発見されたことにより、SEP が全球的に火星大気に降り注いでいることが判明した。しかし火星ディフューズオーロラの発光メカニズムは未解明であり、SEP の降り込みによる火星大気中の光化学反応は理論・観測ともに乏しいなど、SEP が火星大気に与える影響は謎に包まれていた。本研究では、独自に開発した2つの数値モデル、モンテカルロ粒子輸送モデル PTRIP (Particle TRansport In Planetary atmospheres)[1]と汎用光化学モデル PROTEUS (Photochemical and RadiatiOn Transport model for Extensive USE)[2]を組み合わせ、SEP に対する火星大気の応答メカニズム解明を目指した。

これまで、SEP の到来に伴い火星夜側で発生するディフューズオーロラの起源は太陽高エネルギー電子であると考えられてきた。しかし、ディフューズオーロラ発生時に火星大気に降り込んだ太陽高エネルギー電子のエネルギースペクトルを用いて理論的にオーロラ発光の高度分布を再現すると、観測されたオーロラ発光の高度分布とは明らかな乖離があることが知られていた。本研究では、これまで考慮されていなかった太陽高エネルギー陽子に着目し、理論と観測の乖離の解決を試みた。PTRIP では、弾性散乱微分断面積を実験結果と比較し評価することで、従来のモデルでは誤差が大きかったメガ電子ボルト (MeV) を超えるエネルギーの陽子の輸送を正確に計算することが可能になった。PTRIP を用いてディフューズオーロラの発光高度分布を計算した結果、観測されたオーロラ発光高度分布とほぼ一致した。従来考えられてこなかった太陽高エネルギー陽子の降り込みが、火星ディフューズオーロラ的主要な発生要因であったことを突き止めた [1]。また、PTRIP を用いた3次元シミュレーションにより、太陽高エネルギー電子起因のオーロラ発光は地殻磁場の影響を強く受け微細構造を持つ一方で、太陽高エネルギー陽子起因のオーロラ発光は微細構造を持たず水平一様な分布となることを明らかにした [3]。

さらに、PTRIP と PROTEUS を組み合わせることで、SEP に対する火星大気組成の応答過程を調べた。火星大気では、二酸化炭素を主軸とした光化学反応を経て水素酸化物や窒素酸化物の密度が増加し、オゾンの密度が減少することを示し、SEP の降り込みを発端として火星大気中で駆動される光化学反応のメカニズムを明らかにした。予想されるオゾン密度の変動は火星周回探査機 TGO (Trace Gas Orbiter) に搭載された分光器 NOMAD (Nadir and Occultation for MArS Discovery) による将来観測で検出可能であることを示した [4]。

参考文献

[1] Nakamura, Y., N. Terada, F. Leblanc, A. Rahmati, H. Nakagawa, S. Sakai, S. Hiruba, R. Kataoka, and K. Murase (2022), *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 127, e2021JA029914, doi:10.1029/2021JA029914.

[2] Nakamura, Y., N. Terada, S. Koyama, T. Yoshida, H. Karyu, K. Terada, T. Kuroda, A. Kamada, I. Murata, S. Sakai, Y. Suzuki, M. Kobayashi, and F. Leblanc (2023), preprint, arXiv:2301.02415.

[3] Nakamura et al., in preparation.

[4] Nakamura, Y., F. Leblanc, N. Terada, S. Hiruba, I. Murata, H. Nakagawa, S. Sakai, S. Aoki, A. Piccialli, Y. Willame, L. Neary, A. C. Vandaele, K. Murase, and R. Kataoka, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, submitted.