

多流体 MHD シミュレーションに基づいた火星電離圏 CO₂⁺鉛直高度分布にイオン種間衝突がおよぼす影響の研究 Effects of ion-ion collisions on vertical distribution of CO₂⁺ in Martian ionosphere based on multi-fluid MHD simulation

小山 響平^{1*}; 関 華奈子¹; 寺田 直樹²; 寺田 香織²
KOYAMA, Kyohei^{1*}; SEKI, Kanako¹; TERADA, Naoki²; TERADA, Kaori²

¹名古屋大学 太陽地球環境研究所, ²東北大学大学院理学研究科

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, NAGOYA University, ²Graduate School of Science, Tohoku University

地球型惑星における CO₂ と N₂ と地殻の組成重量比の比較から、宇宙空間への大気散逸の重要性が指摘されている [Chassefiere et al., 2006]。一方で、既存の大気散逸機構では、重い CO₂ を流出させるのは容易ではなかったと考えられてきた。ところが、Mars Express 探査機により、多量の CO₂⁺ イオンの散逸が観測され [Carlsson et al., 2006]、その散逸機構の解明が急務となっている。

CO₂⁺ の散逸を大きく左右する要素の一つに、電離圏における CO₂⁺ 密度の高度分布がある。電離圏内の化学反応は、多成分 (Multi-species) MHD などによりすでに研究されているが、多成分 MHD がイオン種毎に扱うのは密度のみで速度は全イオン種同じと近似するので、イオン流体同士の速度差は再現できず、低高度から上層への CO₂⁺ の輸送の再現性はよくなかった。イオン種毎の密度分布を正確に記述するには、各イオン種を別々の流体として取り扱う多流体 (Multi-fluid) MHD 近似が必要となる。開発の方針としては、化学反応の効果を丁寧に扱った Terada et al. [2009] による多成分コードを多流体 MHD の先行研究である Najib et al. [2011] の方程式を参考に多流体 MHD に改良した。

本研究で開発した多流体 MHD では、イオン種間 (ion-ion) 衝突の効果を含めることも可能であるため、次に、火星電離圏における CO₂⁺ 密度の高度分布に焦点をあて、その分布に ion-ion 衝突が与える影響を調べた。ion-ion 衝突の効果を知るため、多流体 MHD でイオン衝突を含めた場合 (Case 1)、イオン衝突を含めない場合 (Case 2)、および、多成分 MHD に相当する全イオン種が同じ鉛直速度を持つ場合 (Case 3) の 3 つのシミュレーションを行い、準定常状態に達した結果を比較した。高度 460km での CO₂⁺ 密度は、Case 1: 82, Case 2: 190, Case 3: 11 cm⁻³ で、従来の多成分 MHD が CO₂⁺ の高高度側へ輸送を過小評価していることが判明した。Viking による電離圏の観測結果との比較からは、適度な ion-ion 衝突を含んだ Case 1 が最もよく観測結果を再現していた。以上から、多流体 MHD は低高度からの二酸化炭素イオンの輸送をより現実的に再現可能であり、火星からの CO₂⁺ 散逸を調べるためには、適切な ion-ion 衝突の導入が重要であるとの結論を得た。本発表では、イオン流体ごとの速度とイオン同士の衝突が、CO₂⁺ の鉛直密度分布に与える影響を報告する。

キーワード: 火星, 電離圏, 大気散逸, 多流体磁気流体シミュレーション
Keywords: Mars, ionosphere, Atmospheric escape, Multi-fluid MHD