

太陽風プロトンの月面散乱 Solar wind proton scattering at lunar surface

上村 洸太^{1*}, 斎藤 義文², 西野 真木², 横田 勝一郎², 浅村 和史², 田中 孝明¹, 綱川 秀夫³

Kota Uemura^{1*}, Yoshifumi Saito², Masaki N Nishino², Shoichiro Yokota², Kazushi Asamura², Takaaki Tanaka¹, Hideo Tsunakawa³

¹ 東大・理・地球惑星, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ³ 東工大・理・地惑

¹Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ., ²ISAS/JAXA, ³Earth Planet. Sci., Tokyo TECH

月には地球のようなグローバルな磁場はなく、大気も存在しないことが知られている。その為、太陽風中の荷電粒子及び中性粒子は月表面に直接衝突する。月周辺の低エネルギー電子分布に関しては過去にアポロ計画、ルナプロスペクターに代表される衛星によって観測が行われており比較的良好に理解されている。しかし月周辺の低エネルギーイオン分布に関しては、過去に観測は殆どなく観測に基づいた理解はされていない。特に月表面と太陽風との相互作用を議論するときは、低エネルギーイオンの相互作用は過去あまり考察されておらず太陽風イオンは月表面に全て吸収されると仮定されてきた。

「かぐや」衛星搭載プラズマ観測装置 MAP-PACE は、月低高度（月面から 100km 以下）の月周回軌道で低エネルギー電子及び低エネルギーイオンの連続観測を 1 年半にわたり行った。プラズマ観測装置 MAP-PACE は電子観測器 2 種類 (ESA-S1, ESA-S2)、イオン観測器 2 種類 (IMA, IEA) の計 4 種類のセンサーで構成されている。「かぐや」衛星は 3 軸姿勢制御衛星であるため常に衛星の同じ面が月面を向き、ESA-S1 と IMA が月面側、ESA-S2 と IEA が反月面側を観測することにより 4 [str] の視野を確保し月周辺での 3 次元分布関数を取得する。これまでの「かぐや」衛星搭載 MAP-PACE の観測により、太陽風イオンが月表面との相互作用を介してエネルギーを失い反月面方向に射出する散乱現象が観測された。また、初期の解析から観測された散乱イオンは質量分析の結果ほぼプロトンであり、太陽風フラックスの 0.1% ~ 1% が月表面で散乱され衛星高度まで到達することが明らかとなっている。

本研究では散乱プロトンの月表面散乱の詳細を調べるため、IMA の半球面の視野を 16 × 64 に分割して観測したデータを利用し、太陽風の月面に対する入射角と散乱プロトンの月面上での射出角との関係及び月表面散乱における散乱プロトンのエネルギー特性を調べた。その結果、散乱プロトンは太陽風の月面への入射方向ベクトルに対して反対方向に射出する後方散乱成分と鏡面反射の方向に射出する鏡面散乱成分の 2 つが存在することが分かった。量としては殆どが後方散乱成分であり鏡面散乱成分は僅かである。後方散乱成分のエネルギー特性は、太陽風の入射ベクトルに対して反対方向に射出する散乱プロトンが最もエネルギー損失が大きく、その方向からずれるに従ってエネルギー損失は小さくなる。また鏡面散乱成分のエネルギー特性は、後方散乱成分よりエネルギー損失が小さいことが分かった。これらのエネルギー特性は、月表面の微視的な面を考慮することにより理解可能であることを示した。

月表面で起こっている太陽風プロトンの散乱現象は、月に限らず大気がなく固体表面を底にもつ天体と太陽風との間で起こる普遍的なプロセスである。本研究で明らかとなった知見は、これまでなかった天体表面と太陽風との直接相互作用という意味で宇宙プラズマ物理の新しい視点であり、月以外の大気がなく固体表面を底にもつ天体表面と宇宙プラズマの相互作用の理解に応用できると考えられる。

キーワード: 太陽風, 月面, 散乱

Keywords: solar wind, lunar surface, scattering