

## 月から飛来する低エネルギーイオンを用いた月表面の遠隔探査

# 齋藤 義文 [1]; 横田 勝一郎 [1]; 西野 真木 [2]; 上村 洸太 [3]; 河村 麻梨子 [4]; 綱川 秀夫 [5]  
[1] 宇宙研; [2] 東工大; [3] 東大・理・地惑; [4] 東大・理・地惑; [5] 東工大・理・地惑

### Lunar surface remote sensing using low energy ions from the Moon

# Yoshifumi Saito[1]; Shoichiro Yokota[1]; Masaki N Nishino[2]; Kota Uemura[3]; Mariko Kawamura[4]; Hideo Tsunakawa[5]  
[1] ISAS; [2] Tokyo Tech; [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.; [4] Earth and Planetary Science, The Univ. of Tokyo; [5] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH

Interaction between the solar wind and a solar system object varies largely according to the object's properties, such as the existence of a global intrinsic magnetic field and/or thick atmosphere. It is well known that the Moon has neither global intrinsic magnetic field nor thick atmosphere. Different from the Earth's case where the intrinsic global magnetic field prevents the solar wind from penetrating into the magnetosphere, solar wind directly impacts the lunar surface. In the Earth's magnetosphere, where the Moon stays for 3~4 days every month, hot plasma-sheet plasmas in the Earth's magnetosphere (instead of the solar wind) can impact the lunar surface. On the other hand, the ions generated or reflected / scattered at the lunar surface are accelerated by the solar wind / magnetotail convection electric field and are detected by ion detectors on the spacecraft orbiting around the Moon. Since these ions have information about the lunar surface structure / composition, they can be used for remote sensing of the lunar surface.

Solar wind protons reflected / backscattered at the lunar surface is one of the ion populations observed on the dayside of the Moon. The solar wind protons that impact the lunar surface are mostly scattered backward inside a scattering cone with  $\pm 40^\circ$  whose center axis is opposite to the incidence direction of the solar wind. It is also found that the energy decrease of the backscattered solar wind is most significant along the axis of the scattering cone. In order to investigate the global distribution of the backscattered solar wind protons, we have made a backscattered proton intensity map. Since the magnetic anomalies magnetically reflect the incident solar wind ions, we have made the backscattered proton intensity map by masking the major magnetic anomalies on the lunar surface. The backscattered proton intensity map shows that the relatively intense backscattering was observed on the lunar maria regions. It indicates that the backscattered protons can be used for remotely sensing the lunar surface structure.

The ions originating from the Moon surface are observed both in the solar wind and in the Earth's magnetosphere. In the solar wind, on the dayside of the Moon, the ions originating from the Moon are observed only in one of the hemispheres and the energy increases from the pole to the equator depending on the intensity and direction of the solar wind convection electric field. On the other hand, in the Earth's magnetosphere, the ions from the Moon are clearly observed on the dayside of the Moon in the lobe especially when the solar zenith angle is below  $40^\circ$ . These ions often show characteristic variation of the flux that presumably correlates with the lunar surface structure or composition. The mass spectra of these ions show heavy-ion peaks including C+, O+, Na+, K+, and Ar+. In order to understand the global distribution of the ions originating from the Moon surface, we have made ion flux maps by separating ion species. We have newly found that there exist ion flux intensity variations of some of the ion species that show good correspondence with the lunar surface locations. It indicates that ions originating from the Moon surface can be used for remotely sensing the lunar surface composition.

太陽風と天体の相互作用は、グローバルな固有時磁場の有無、濃い大気の有無など各々の天体の持つ条件によって大きく異なっている。地球の月にはグローバルな固有時磁場も無ければ、濃い大気も無い。グローバルな固有磁場が太陽風の直接的な侵入を妨げている地球磁気圏とは異なり、月表面には太陽風が直接衝突することができる。月は1ヶ月に3-4日の間地球磁気圏内に滞在するが、地球磁気圏内では太陽風の代わりにプラズマシートの暖かいプラズマが月表面に直接衝突することができる。一方で、月面付近で生成・散乱、反射されたプラズマは太陽風中や地球磁気圏尾部中の電場で加速されて、月周回軌道を飛行する衛星まで到達することができる。これらのプラズマは月表面の情報を持っている事から、月周回軌道でプラズマ計測を行う事で月表面の遠隔探査を行うことが可能であると考えられる。しかしながら、他天体周辺のプラズマは未だ十分な質量分解能、角度分解能、時間分解能で計測されてはならず、観測された結果が天体表面の何を反映しているかはよくわかっていない。

磁気圏中月表面で散乱・反射される太陽風プロトンは月昼間側で観測されるイオン分布の一つである。月表面に直接衝突した太陽風プロトンの一部は、 $\pm 40^\circ$ 度の散乱コーン内に逆散乱される、すなわち散乱コーンの軸は太陽風の入射方向と同じである。この逆散乱は、散乱コーンの軸に沿った方向で最もエネルギーの減少量が大きく、散乱コーンの端に近づくにつれて、エネルギー減少量は少なくなるという特徴を持っている。太陽風プロトンの月面散乱のグローバルな分布を調べるために、散乱イオンマップを作成した。月面に磁気異常があると、イオンは磁場によって反射されてしまう。そこで、散乱イオンのみの分布を明らかにするため、「かぐや」搭載磁力計によって観測された主要な磁気異常の分布をマスクすることで、散乱イオンのみの分布がわかるマップを作成した。その結果、月面で散乱されるイオンは月の海の領域で比較的強く散乱されることが明らかとなった。この事は、月面散乱イオンは月表面の状態の遠隔探査に使用できる可能性のあることを示している。

月表面あるいは月面近傍の月大気起源のイオンについては、太陽風中で観測される月起源イオンと地球磁気圏中で観測される月起源イオンの両方が存在する。太陽風中、月の昼間側では太陽風中の電場の方向に応じて極付近から赤道

付近にかけてエネルギーの変化する月起源イオンが観測される。一方、地球磁気圏内では特に月がローブ領域に滞在しているときに太陽角が40度以下の月昼間側で観測されるが、月表面近くにある中性の大気が太陽光によって電離され、月の表面電位と磁気圏尾部中の電場によって加速されて観測されたものである可能性が高い。更に、ローブ領域で観測されるこれらのイオンは衛星直下の月面位置に依存すると思われる特徴的なエネルギーおよびフラックスの時間変化を示すことがわかった。これらのイオンの質量分析結果を見るとC<sup>+</sup>、O<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、やAr<sup>+</sup>などの重いイオンのピークが観測される。そこで、質量分析の結果を用いてイオン種毎の検出位置マップを得られた全てのデータを用いて作成してイオンの検出位置と月面上の場所についてどのような関係があるのかを調べる事にした。その結果、特定のイオン種の検出位置マップに、月面上の位置に対応していると考えられるマップ上の構造がいくつかある事が新たに明らかとなった。この事は、月表面あるいは月面近傍の月大気起源のイオンが月表面組成の遠隔探査に使用できる可能性のあることを示している。