

太陽風イオンによるスパッタリングを利用した小型天体の遠隔質量分析

横田 勝一郎 [1]; 寺田 健太郎 [2]; 齋藤 義文 [3]; 西野 真木 [4]; 清水 久芳 [5]; 高橋 太 [6]
[1] 阪大; [2] 阪大・理・宇宙地球; [3] 宇宙研; [4] 名大 ISEE; [5] 東大・地震研; [6] 九大・理・地惑

Remote SIMS analyses of small body surface using the solar wind sputtering

Shoichiro Yokota[1]; Kentaro Terada[2]; Yoshifumi Saito[3]; Masaki N Nishino[4]; Hisayoshi Shimizu[5]; Futoshi Takahashi[6]
[1] Osaka Univ.; [2] Earth & Space Science, Osaka Univ.; [3] ISAS; [4] ISEE, Nagoya University; [5] ERI, University of Tokyo; [6] Kyushu Univ.

The ejection of the surface material is one of the unique features of airless small bodies in space. The solar wind sputtering ejects secondary ions from the surface, which reflect the abundance of the target materials. The amounts of the secondary ions are estimated to be enough compared with the sensitivities of typical spaceborne ion instruments for space plasma observations.

The KAGUYA that was equipped with ion analyzers observed the plasma environment around the Moon for 1.5 years. We used the KAGUYA data to estimate secondary ion fluxes emitted from the lunar surface. Although the mass resolution is not enough to clearly distinguish heavy metal ions from each other, the 1.5-year data provided the flux ratio and distribution maps of the secondary ions.

The abundances of the secondary ions by the sputtering do not directly reflect that in the targeted materials because the secondary ion yields depend on the ionization ratios. Therefore, standard samples are used for calibrations in laboratory SIMS analyses. However, we have no such standard samples for spacecraft observations of the secondary ions. In this study, we used the empirical model derived from experiments of secondary ions and a numerical model (SDTrimSP) to estimate the secondary ion yields. It was proposed that the ion flux ratios to Si⁺ are useful to investigate small bodies' surfaces. The empirical model showed that it is possible to determine whether targeted bodies are primitive or evolved by measuring the secondary ions. Indeed, KAGUYA data demonstrated the technique is possible.

Lander and rover explorations provide precise information on targeted bodies but they require larger costs and risks in their developments and operations compared to orbiter missions. Our findings show that secondary ion observation by orbiters also provide the information of the surface materials similarly to laboratory SIMS analyses. Such observations could achieve scientific results before landing operations and added wide-area data to precise data regarding limited areas obtained by landers and rovers.

天体表面物質の放出は、十分な大気や磁場を持たない宇宙空間に剥き出しの小型天体にとって特徴的かつ普遍的な現象である。特に太陽風によるスパッタリングは天体表面物質を物理的に削ることで構成物質を放出させるため、放出物が天体表面物質の情報を有することが期待されている。そのうちイオン化した放出物（二次イオン）の流量は、磁気圏観測衛星などに搭載される標準的なイオン分析器の検出限界を上回るという見積もりも提唱されている。

月周回探査機 KAGUYA にはイオン質量分析器が搭載されていて、約 1.5 年の間で月周辺のイオンが観測された。KAGUYA の観測データを用いて太陽風による天体表面起源の二次イオンの評価を行った。質量分解能 M/DM~20 は重イオンを明確に分別する上で十分ではないが、長期間の観測データを利用することで、二次イオンの組成比や流量分布を求めた。

スパッタリングという物理現象において、二次イオンの組成比は直ちに表面の組成比に変換することは出来ない。これは、二次イオンの放出には放出粒子のイオン化率が関わってくるためである。実験室の SIMS 分析ではイオン化率を求めるため標準試料を用いる。小型天体の観測において標準試料を用いることは困難であるため、経験モデルから求めた二次イオンの放出効率を今回は利用した。太陽風のエネルギー帯 (~1 keV) でのスパッタリングは実験室プラズマにおける典型的なエネルギー領域 (>10s keV) と比較してモデル化が遅れている。しかしながら、これまでの実験室での二次イオン放出の計測結果や最近の低エネルギー側に調整されたスパッタリングモデル (SDTrimSP) による結果から、Si⁺ との比を採用することの有効性が提唱されるようになった。現時点では、二次イオンの観測から小型天体が始原的か進化を受けたかが判別できると見積もられている。今回の KAGUYA 観測データの解析からはその判別が可能であるという結果となった。

着陸機探査による観測は詳細な情報を提供するが、着陸探査は周回探査に比べて開発や観測運用により大きなコストとリスクを要する。今回の KAGUYA 観測データから、二次イオンの計測により周回軌道上から遠隔で天体表面の SIMS 分析が可能であることが示された。このことは、周回探査が着陸探査に対して事前に観測成果を保証し、かつ広域観測を着陸地に限られた詳細観測に追加する相補的な役割を果たせることも意味している。