

「かぐや」MAP-PACE が明らかにした月昼間側の月 太陽風相互作用

齋藤 義文 [1]; 横田 勝一郎 [2]; 浅村 和史 [3]; 田中 孝明 [4]; 綱川 秀夫 [5]; 渋谷 秀敏 [6]; 清水 久芳 [7]; 高橋 太 [8]; 松島 政貴 [9]; 西野 真木 [10]; 山本 忠輝 [11]; 「かぐや」MAP-PACE 班 齋藤 義文 [12]; 「かぐや」MAP-LMAG 班 綱川 秀夫 [12]

[1] 宇宙研; [2] 宇宙機構; [3] 宇宙研; [4] 東大・理・地球惑星; [5] 東工大・理・地惑; [6] 熊大・自然; [7] 東大・地震研; [8] Tokyo Tech; [9] 東工大・地惑; [10] 宇宙機構・科学本部; [11] 東大・理・地球惑星; [12] -

The solar wind - Moon interaction discovered by MAP-PACE on KAGUYA

Yoshifumi Saito[1]; Shoichiro Yokota[2]; Kazushi Asamura[3]; Takaaki Tanaka[4]; Hideo Tsunakawa[5]; Hidetoshi Shibuya[6]; Hisayoshi Shimizu[7]; Futoshi Takahashi[8]; Masaki Matsushima[9]; Masaki N Nishino[10]; Tadateru Yamamoto[11]; Yoshifumi Saito KAGUYA MAP-PACE Team[12]; TSUNAKAWA, Hideo KAGUYA MAP-LMAG Team[12] [1] ISAS; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.; [5] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH; [6] Dep't Earth Sci., Kumamoto Univ.; [7] ERI, Univ. of Tokyo; [8] Tokyo Tech; [9] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo Tech; [10] ISAS/JAXA; [11] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [12] -

Magnetic field And Plasma experiment - Plasma energy Angle and Composition Experiment (MAP-PACE) on the KAGUYA (SELENE) spacecraft completed its ~1.5-year observation of low energy charged particles around the Moon. After completing the nominal mission at 100km polar orbit, KAGUYA lowered its orbit to 50km-altitude and to further lower orbit of ~20km altitude. The newly observed data show characteristic ion distributions around the Moon. Besides the solar wind, low energy ion analyzers have discovered four clearly distinguishable ion distributions in the dayside of the Moon: 1) Solar wind ions reflected/scattered at the lunar surface, 2) Solar wind ions reflected by magnetic anomalies on the lunar surface, 3) Ions that are originating from the solar wind ions reflected/scattered at the lunar surface and are picked up and accelerated by the solar wind convection electric field, and 4) Ions originating from the lunar surface / lunar atmosphere.

One of the most important discoveries of the ion mass spectrometer (MAP-PACE-IMA) is the first in-situ measurements of the alkali ions originating from the Moon surface / atmosphere. The ions generated on the lunar surface by solar wind sputtering, solar photon stimulated desorption, or micro-meteorite vaporization are accelerated by the solar wind convection electric field and detected by IMA. The mass profiles of these ions show ions including He+, C+, O+, Na+, and K+/Ar+. The heavy ions were also observed when the Moon was in the Earth's magnetotail where no solar wind ions impinged on the lunar surface. This discovery strongly restricts the possible generation mechanisms of the ionized alkali atmosphere around the Moon.

When KAGUYA flew over South Pole Aitken region, where strong magnetic anomalies exist, solar wind ions reflected by magnetic anomalies were observed. These reflected ions had nearly the same energy as the incident solar wind ions, and their flux was more than 10% of the incident solar wind ions. At 100km altitude, when the reflected ions were observed, the simultaneously measured electrons were often heated and the incident solar wind ions were sometimes slightly decelerated. At 50km altitude, when the reflected ions were observed, proton scattering at the lunar surface clearly disappeared. At ~20km altitude, the interaction between the solar wind ions and the lunar magnetic anomalies was remarkable with clear deceleration of the incident solar wind ions and heating of the reflected ions as well as significant heating of the electrons. These newly discovered plasma signatures around the Moon are the evidences of the smallest magnetosphere ever observed.

「かぐや」衛星搭載 MAP-PACE は 2009 年 6 月 11 日に約 1.5 年にわたる月周回軌道における観測を完了した。「かぐや」は約 1 年間の月周回 100km 高度におけるノミナルミッションの後、50km に高度を下げ更に約 20km 高度での観測を行なった後月面に衝突しミッションを終了した。プラズマ観測装置 MAP-PACE は「かぐや」に搭載された 14 の観測装置のうちの一つであり月周辺プラズマの観測を行った。MAP-PACE は電子観測器 ESA-S1、S2、イオン観測器 IMA と IEA の 4 種類のセンサーで構成されている。各センサーは半球面の視野を持っており、2 台の電子観測器と 2 台のイオン観測器で低エネルギー電子とイオンの 3 次元分布関数を計測することができる。イオン観測器のうち月面方向に視野を持つ IMA は質量分析器であり月周回極軌道でこれまで観測された事の無かったイオンの質量分析を行った。MAP-PACE-IEA、IMA の観測によって初めて明らかになった月周辺における低エネルギーイオンの分布は、太陽風を別にすると次の 4 種類の特徴的な分布に大別できる 1) 月表面で反射 / 散乱された太陽風プロトン 2) 月面磁気異常によって反射された太陽風イオン 3) 月面で反射 / 散乱されたイオンが太陽風中の電場によってピックアップされ、加速されたもの 4) 月面 / 月面近傍の月大気を起源とするイオン。

太陽風の反射 / 散乱は月周回で初めてその存在が観測されたが、グローバルな固有磁場が無く大気の希薄な天体には普遍的に存在するプロセスでありそれらの太陽風によるピックアップ加速も含めて天体周辺環境において無視できない重要なプロセスである。

月面 / 月面近傍の月大気を起源とするイオンの観測も重要な成果のひとつである。これらのイオンの質量プロファイルを見ると、C+, O+ や Na+/Mg+, K+/Ar+などの重いイオンが含まれている。これらの月面 / 月面近傍の月大気を起源とするイオンは、月が地球磁気圏中にある時にも観測されることがわかった。磁気圏中では、太陽風が月面に衝突することは無いため、この観測結果は月周辺電離大気の生成メカニズムに大きな制約をつけることになる。

月面磁気異常によって反射された太陽風イオンについては、特に低高度観測において特徴的な変化が観測された。「かぐや」が比較的強い月表面磁気異常が多数存在する事で知られる South Pole Aitken 盆地上空を飛行した際、磁気異常

で反射されて月面から戻って来る太陽風イオンが観測された。これらのイオンは太陽風とほぼ同じエネルギーを持っており、フラックスは太陽風イオンの10%を超えている。100 km 高度でこれらのイオンを観測すると、同時に観測される電子は多くの場合加熱され、月に飛来する太陽風イオンは時に少し減速する。50 km 高度では、反射イオンが観測されると月面で散乱される太陽風イオンの消失することが明らかとなった。この事は、月表面磁気異常付近には、太陽風の衝突から守られた領域が存在することを示している。更に低い20 km 高度では、太陽風イオンと月磁気異常との相互作用によって電子が激しく加熱され、太陽風イオンが激しく減速する様子が観測された。これらの様子は100km程度の非常に小さなスケールで観測される例もあり、これらの低高度において新たに観測された低エネルギー電子、イオンのデータは、月表面磁気異常付近に100kmスケールの「磁気圏」が存在していることを示している。