

月周回衛星「かぐや」搭載電子分析器 MAP-PACE-ESA による月磁気異常、月からの電子ビーム及び月面ポテンシャルの観測

山本 忠輝 [1]; 斎藤 義文 [2]; 浅村 和史 [3]; 横田 勝一郎 [2]; 西野 真木 [3]; 綱川 秀夫 [4]; 寺沢 敏夫 [5]
[1] 総研大; [2] 宇宙研; [3] 宇宙研; [4] 東工大・理・地惑; [5] 東大・宇宙線研

The lunar magnetic anomaly and the electrostatic lunar surface potential observed using Electron Spectrum Analyzer onboard Kaguya.

Tadateru Yamamoto[1]; Yoshifumi Saito[2]; Kazushi Asamura[3]; Shoichiro Yokota[2]; Masaki N Nishino[3]; Hideo Tsunakawa[4]; Toshio Terasawa[5]
[1] Soken dai; [2] ISAS; [3] ISAS/JAXA; [4] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH; [5] ICRR, U. Tokyo

The Moon has no global magnetic field. However, measurements by magnetometers on the Apollo subsatellites and the returned samples showed the existence of extensive crustal magnetism. The largest areas of strong magnetic anomalies were located antipodal to impact basins such as Imbrium, Orientale, and Nectaris that were formed in the same period. According to Lunar Prospector data covering the whole lunar surface, strong magnetic anomalies were located radial, or antipodal to the impact basins. These results suggest how the magnetic anomalies were made. But the origin of these lunar magnetic anomalies has still been on debate. These anomalies also correlate with albedo markings on the lunar surface. This is because structure like mini-magnetosphere around the anomalies and related shock will deflect solar wind ions. Lunar Prospector also observed electron heating near the anomalies.

Lunar Prospector observed the electron beam from the lunar surface, which is probably accelerated by differential charging of the lunar surface and the spacecraft. Kaguya MAP-PACE observed not only the electron beam in shadow, but also ion possibly accelerated by potential difference in tail lobe region, in sunlight. The surface charging can vary significantly with changes in solar zenith angle, solar wind concentration, temperature, and flow velocity., but is not fully understood.

We have observed the lunar magnetic anomaly using the data obtained by MAP-PACE-ESA and MAP-LMAG (Lunar Magnetometer) onboard Kaguya by electron reflection method. With the existence of the remnant magnetic field on the surface of the moon, the electrons moving toward the lunar surface with large pitch angle around the ambient magnetic field will be reflected back to the satellite by a magnetic mirror. By measuring the pitch angle distribution of the reflected electrons, we can deduce the strength of the remnant magnetic field on the lunar surface. Since Kaguya is a three-axis attitude controlled satellite, we need two sensors mounted on the moonward and the anti-moonward spacecraft panels in order to obtain three-dimensional electron distribution functions. The ESA sensor basically employs a method of a top-hat type electrostatic analyzer placing angular scanning deflectors at the entrance and toroidal deflectors inside. The Field Of View (FOV) is electrically scanned between +/-45 degrees inclined from the axis of symmetry. High time resolution (~2s) mode of ESA makes it possible for us to observe the magnetic anomaly with higher spatial resolution than previous observation.

To make more precise map of the lunar magnetic anomaly, We corrected the measurements for electrostatic reflection caused by differential charging of the lunar surface and the spacecraft. The surface of the Moon charges to an electrostatic potential that minimizes the total incident current. The charging currents come from four sources: photoemission of electrons, plasma electrons, plasma ions, and secondary electrons. We have observed lunar surface potentials particularly. We will present those results and discuss how the lunar magnetic anomalies and lunar surface potentials correlate with the selenographical features. We will also discuss about electron beam from the lunar surface.

月にはグローバルなダイポール磁場は存在しないことが知られている。しかし、Apollo 計画時のサンプルリターンに強く安定した残留磁場が見つかったこと、着陸点付近でも数百 nT の磁場が観測されたことなどによって、月表面には磁気異常が存在することが明らかになった。Apollo 15,16 Subsatellite は月の赤道面上・高度 100km から電子反射計を用いて月表面の 20 % を観測し、その結果、ある時期に形成された大きな Impact basin の対蹠地にあたる場所で強い表面磁場が多く観測されることがわかった。後に Lunar Prospector が極軌道から月全体にわたって同様の観測を行い、磁気異常マップを作成した。その結果、磁気異常とほかの地形的特徴との相関の多くは否定され、磁気異常は過去のある時期に形成された Impact basin の対蹠地においてよく見られるという傾向が顕著となった。また、強い磁気異常を持った場所と月表面のアルベドとの相関も指摘されている。これは強い磁気異常の周りに小さな「磁気圏」のようなものが形成され、表面が太陽風にさらされなかった結果だと考えられている。(この「磁気圏」前面のショック起源と思われる電子の加熱も観測されている。) これまでの観測で磁気異常について多くの理解が得られたが、その起源についてはまだ決着しておらず、今後もより詳細な観測が求められる。

Lunar prospector のロープや月のウェイク中での観測において、月からの電子ビームが報告されており、これは月面衛星間のポテンシャル差によって月面の 2 次電子が加速されたものと考えられている。(磁気異常マップ作成の際は衛星月面間のポテンシャル差の効果を取り除いている。) かぐや MAP-PACE においても、同様の電子ビームに加え、ロープ中、昼側において月面からポテンシャル差によって加速された可能性のあるイオンが観測された。ポテンシャル差は太陽天頂角や太陽風、月面の地質などによって、大きく変化すると報告されているが、まだ完全には理解されていない。

我々は「かぐや」搭載の電子分析器 (MAP-PACE-ESA : Electron Spectrum Analyzer) によるデータを利用して、Apollo

や Lunar Prospector でも用いられた電子反射法（電子が月表面の磁場によって反射される際に生じる電子のピッチ角異方性を利用して月の表面磁場を測定する方法）を用いて、月の磁気異常解析を行っている。「かぐや」は3軸姿勢制御衛星であるためスピンしないので、電子分析器を月面側 (ESA-S1)、反月面側 (ESA-S2) にそれぞれ設置することで4°の視野を持たせている。ESA は基本的には Top-Hat 型の静電分析器であり、荷電粒子の入射口に45度方向を中心にプラスマイナス45度の掃引を行う視野角掃引電極を置くことで2°の視野を持つ。これにより得られる電子データと LMAG による衛星上での磁場データをあわせて、電子のピッチ角データを算出、磁気異常解析を行う。「かぐや」MAP-PACE-ESA は先行研究よりも高い時間分解能～2秒での観測が可能となっており、これにより、より多くのデータポイント及び高い空間分解能を確保できるため、より細かい構造の解析が期待される。また、電子反射計への電場の影響をとりぞくために、月面と衛星間のポテンシャル差を測定した。ポテンシャル差は月表面に対して電子、イオンが流入、あるいは流出する量によって決まるが、それらは月や周辺のプラズマ環境によって決まると考えられる。今回、ポテンシャルについてより詳細に調べ、月面のプラズマ環境について考察する。また、ポテンシャル差の測定のため観測した電子ビームには、ピッチ角が広がっているものも観測されている。この要因についても月の地形や磁気異常とのかかわりから議論する。