

月磁気異常帯が電子 gyro-loss 効果に与える影響

原田 裕己 [1]; 町田 忍 [2]; 齋藤 義文 [3]; 横田 勝一郎 [3]; 浅村 和史 [4]; 西野 真木 [4]; 綱川 秀夫 [5]; 渋谷 秀敏 [6]; 高橋 太 [7]; 松島 政貴 [8]; 清水 久芳 [9]

[1] 京大・理・地球惑星; [2] 京大・理・地惑; [3] 宇宙研; [4] 宇宙研; [5] 東工大・理・地惑; [6] 熊大・自然・地球; [7] 東工大・理・地惑; [8] 東工大・地惑; [9] 東大・地震研

Influence of lunar magnetic anomaly on the electron gyro-loss effect

Yuki Harada[1]; Shinobu Machida[2]; Yoshifumi Saito[3]; Shoichiro Yokota[3]; Kazushi Asamura[4]; Masaki N Nishino[4]; Hideo Tsunakawa[5]; Hidetoshi Shibuya[6]; Futoshi Takahashi[7]; Masaki Matsushima[8]; Hisayoshi Shimizu[9]

[1] Dept. of Geophys., Kyoto Univ.; [2] Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto Univ.; [3] ISAS; [4] ISAS/JAXA; [5] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH; [6] Dep't Earth & Env., Kumamoto Univ.; [7] TITech; [8] Dept Earth & Planetary Sciences, Tokyo Tech; [9] ERI, University of Tokyo

Although the Moon has no global intrinsic magnetic field, there are some locally magnetized regions called lunar magnetic anomalies. These magnetic anomalies have been observed since the Apollo era and their global map was obtained based on the data acquired by magnetometers onboard orbiting satellites, as well as by electron reflection method, which uses electron's magnetic mirror effect. The magnetometers can directly detect the magnetic field variation due to the magnetic anomalies but it is difficult to detect the effect of the magnetic anomalies with spatial scales smaller than the orbital altitude. The electron reflection method can infer the surface field strength but one snapshot observation can only provide the magnetic field intensity of its foot point on the lunar surface.

Recently, the gyro-loss effect on electron velocity distribution functions (VDFs) has been found through the analysis of the data obtained by Kaguya. When the magnetic field is parallel to the lunar surface, gyrating electrons strike the lunar surface, producing an empty region in the electron VDF. Although we found a number of electron VDFs which had the empty regions just as the theory predicts, some VDFs clearly show the presence of electrons inside the theoretical forbidden region under the assumption of the uniform magnetic field. One possible explanation is that those electrons were reflected or scattered back by the lunar magnetic anomalies.

In this study, we investigate how a magnetic anomaly modifies the electron gyro-loss effect by performing test particle simulations. We assume a buried magnetic dipole under the lunar surface with the ambient magnetic field and trace the electrons from the spacecraft. Thus the forbidden regions in electron VDFs are obtained for various cases. The simulation results show that (a) the gyro-loss effect on electron VDF can be modified by a given magnetic anomaly with spatial scale smaller than the orbital altitude, (b) the gyro-loss effect on electron VDFs is sensitive to the polarity of the buried magnetic dipole, and (c) the surface strength and spatial scale of the magnetic anomaly also specify the property of the forbidden region. These results suggest that the gyro-loss effect can provide additional detailed information on the lunar magnetic anomalies.

月は全球的な固有磁場をもたないが、月面には磁気異常帯と呼ばれる局所的に磁化された領域が点在している。月磁気異常帯は、月周回衛星に搭載された磁力計や電子の磁気ミラー効果を利用した電子反射法などを用いて観測、マッピングされてきた。磁力計は磁気異常帯による磁場の変化を直接検出することができるが、衛星高度が高いほど小さい空間スケールを持った磁気異常帯を検出することは難しくなる。一方、電子反射法は月面での磁場強度を推測することができるが、一回の観測で分かるのは磁力線のフットポイントの磁場強度だけである。

近年、我々は、かぐや衛星によって得られたデータを解析することによって、電子速度分布関数に現れる gyro-loss 効果を見い出した。それは、磁力線が月面と平行な場合に、磁力線の周りを旋回運動する電子が月面に衝突し、電子速度分布関数上に空洞領域が現れるというものである。理論的な予想によってよく説明できる空洞領域を持つ、多くの電子速度分布関数が見つかったが、いくつかの速度分布関数では、一様磁場の仮定のもとでは本来観測されないはずの理論的な禁制領域の内部で電子が観測されていた。電子が月磁気異常帯によって反射または散乱され、それがかぐや衛星によって観測されたというのが考えられる理由のひとつである。

本研究では、月磁気異常帯が電子 gyro-loss 効果に与える影響を、粒子の軌道計算を用いて調べた。具体的には、月面下にダイポール磁場を置き、衛星から電子を逆追跡し月面に衝突するかどうかを調べた。ダイポール磁場のパラメータを変化させ、様々な状況における禁制領域を導出した結果、以下のことが分かった。(a) 電子 gyro-loss 効果は衛星高度よりも小さな空間スケールをもつ磁気異常の影響を受け得る。(b) 電子 gyro-loss 効果はダイポール磁場の極性に強く依存する。(c) 磁気異常の表面磁場強度や空間スケールも禁制領域の特徴を変化させる。これらの結果は、電子 gyro-loss 効果を用いることによって月磁気異常帯に関する新たな情報が得られる可能性を示している。