

かぐや子衛星 2 機を用いた月電離層の電波掩蔽観測

安藤 紘基 [1]; 今村 剛 [2]; 岩田 隆浩 [3]; 望月 奈々子 [4]; 河野 裕介 [5]; 松本 晃治 [6]; 劉 慶会 [7]; 野田 寛大 [8]; 花田 英夫 [6]; 二穴 喜文 [9]; 小山 孝一郎 [10]; 齊藤 昭則 [11]

[1] 東大・理・地惑; [2] JAXA 宇宙科学本部; [3] JAXA/宇宙研; [4] 宇宙機構/宇宙研; [5] 国立天文台; [6] 国立天文台 RISE; [7] 天文台; [8] 国立天文台 RISE; [9] IRF; [10] ISS,NCU; [11] 京都大・理・地球物理

Observation of the lunar ionosphere by the dual-spacecraft radio occultation method

Hiroki Ando[1]; Takeshi Imamura[2]; Takahiro Iwata[3]; Nanako Mochizuki[4]; Yusuke Kono[5]; Koji Matsumoto[6]; qinghui Liu[7]; Hiroto Noda[8]; Hideo Hanada[6]; Yoshifumi Futaana[9]; Koichiro Oyama[10]; Akinori Saito[11]
[1] Earth and Planetary Science, Tokyo Univ; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] ISAS/JAXA; [5] NAOJ; [6] RISE, NAOJ; [7] NAOJ; [8] RISE, NAOJ; [9] IRF; [10] ISS, National Central Univ.; [11] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.

<http://www.sgepss.org/>

Radio occultation experiments which were performed in Luna Missions of Russia in the 1970s indicated the existence of the lunar ionosphere with large electron densities of the order of 100 cm^{-3} . On the other hand, theoretically the lunar ionosphere is thought to have densities on the order of 1 cm^{-3} when we consider the solar wind electric field which sweeps ions and electrons away and the low density of the lunar neutral atmosphere. The radio science (RS) experiments in the SELENE (KAGUYA) mission aims at solving this problem.

Similarly to the previous studies, we have carried out observations many times by using coherent radio waves transmitted from a single sub-satellite. This method can't avoid the effects of the Earth's ionosphere and the interplanetary plasma, and thus it is difficult to detect the lunar ionosphere clearly. However, from a statistical analysis of ~400 experiments, we can see a trend that the electron density increases in the altitude region 0-30 km for solar zenith angles (hereafter SZA) of <60 degrees, i.e., near the sub-solar point.

In parallel with this single-spacecraft method, we have tried to detect the lunar ionosphere by receiving the radio waves emitted from the two sub-satellites at the same time. In this dual-spacecraft method, Rstar is used to measure the Earth's ionosphere contribution while Vstar is occulted by the moon; the difference between the two measurements gives the lunar ionosphere component. However, Rstar has coherent downlink frequencies only in S-band, and thus we are forced to use two S-bands which have frequencies close to each other (2218 MHz and 2287 MHz). This results in a relatively large measurement noise in the derived electron density. Moreover, the two sub-satellites must be present within the beam diameter of the ground antenna, and consequently, the number of observation opportunities is much less than that of the single-spacecraft method.

The observations by the dual-spacecraft method covered the SZA range from 70 to 120 degrees, and not no increase in the electron density was normally observed. Exceptions are the density enhancements in two cases with SZA = 74.4 and 82.2. We consider that an ionosphere might be generated above the moon surface locally or sporadically on the sunlit side even near the terminator.

As the generation mechanism, we assume that photoelectrons might be protected by remnant magnetic field on the moon surface or transported to the region whose SZA is large by the interaction with the magnetic fields of the solar wind. Moreover, we pay attention to lunar dusts projected from the moon surface, which release photoelectrons by the sunlight.

1970年代のロシアのLunaミッションでの電波掩蔽観測などにより、月面から高度数十 km までの領域に最大で 1000 cm^{-3} もの密度の電子が存在する事が示唆された。一方、太陽風の誘導電場によりプラズマが剥ぎ取られる事や月の大気の稀薄さを考慮すると、月周辺の電子密度は 1 cm^{-3} 程度と理論的に見積もられている。また月の電離層の存在を否定する観測結果もあるため、月の電離層の存在はあまり受けいれられていない。「かぐや」電波科学掩蔽観測は2機の子衛星VstarとRstarを利用し、この問題に決着をつける事を目的としている。

観測の手法としてはVstarのみを用いる方法とVstarとRstarを同時に用いる方法の2通りを試みた。前者では地球電離層や宇宙空間の電子密度の影響を避ける事ができず微小な月の電離層を抽出する事が難しいという欠点があるが、400回以上の観測の統計的解析により、太陽天頂角(以下SZA)が60度以下の昼側の領域で月面から高度30kmにわたり電子密度の増分があるという傾向が見られた。一方後者の方法は、Vstarの掩蔽中にRstarが地球電離層をモニターするという世界でも前例のない試みである。このときRstarの電波はVstarのそれに近い所を通るため、VstarとRstarそれぞれで計測した電子密度を互いに差し引く事で地球電離層や宇宙空間の電子密度を排除する事が可能であり、微小な月の電離層成分のみを取り出す事ができる。しかしRstarの装備の都合上、利用できる2周波が2218MHzと2287MHz近いために電子密度の計測誤差が大きくなる。また地上局のアンテナのビーム径に2機の子衛星が同時に入っていなければならず、観測誤差が30回程度に限られる。

2機を同時に用いた観測はSZA = 70-110度をカバーするが、この範囲では平均的には電子密度の増加は見られない。ただし全25回の観測のうちSZA = 74.4度とSZA = 82.2度の2ケースで電子密度の増分が見られた。このことから日照側では何らかの条件下で月の電離層が生成されることもあると考えられる。この生成メカニズムとして、残留磁場により光電子が保護されること、日照側のSZAが小さい領域で生成された光電子が太陽風磁場との相互作用によりSZAの大きい領域まで輸送されること、そして月面から飛び出したダストが太陽光により光電子を放出しダストプラズマ層を作り出す事などを想定している。本発表ではこれらの定量的な解析結果も合わせて話を展開したい。