

## かぐや電波科学による月電離層の観測

## Observing the lunar ionosphere with SELENE radio science

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

# Takeshi Imamura[1]; Takahiro Iwata[2]; Nanako Mochizuki[3]; Yusuke Kono[4]; Koji Matsumoto[5]; qinghui Liu[6]; Hiro-tomo Noda[7]; Hideo Hanada[5]; Koh-ichiro Oyama[8]; Yoshifumi Futaana[9]; Akinori Saito[10]; Hiroki Ando[11]

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

[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA; [4] NAOJ; [5] RISE, NAOJ; [6] NAOJ; [7] RISE, NAOJ; [8] ISAS; [9] IRF; [10] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [11] Earth and Planetary Science, Tokyo Univ

月面近傍の荷電粒子については主としてアポロ計画で集められた観測データを用いて研究されてきたが、その素性については謎のところが多 (Stern, 1999). 昼側の月面直上には太陽紫外線等によって月面からたたき出された光電子の層があり、その密度は  $10^4 \text{ cm}^{-3}$  のオーダー、厚さは数百 m と考えられている (Reasoner and Burke, 1972; Walbridge, 1973). この上には月の大気が光電離されて生じる電離層が高度 100 km 程度まで広がっていると考えられている (Stern, 1999). 月の大気は地殻内部から染み出る Ar, Ne, He などを主成分とし、密度が  $10^5 \text{ cm}^{-3}$  程度以下という大変希薄なものである (Hodges et al., 1974). この大気が太陽紫外線により光電離されるとき電子・イオン生成率は  $1 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$  程度以下であり、一方で月面には磁場を擁した太陽風が数百  $\text{km s}^{-1}$  の速さで吹き付けてその誘導電場により荷電粒子を数秒のうちに持ち去るため (Johnson, 1971; Hodges et al., 1974), 月電離層の密度はせいぜい  $1 \text{ cm}^{-3}$  のオーダーにしかなりえないというのが通説である (Bauer, 1996).

月電離層の観測の試みとしては、かに星雲などの電波天体が月で掩蔽される際に月電離層による電波の屈折を検出しようとしたものが数例あり、その中には有意な屈折が検出されなかったものもあれば、 $1000 \text{ cm}^{-3}$  程度の電離層で説明できる結果が得られたものもある (e.g., Elsmore, 1957; Andrew et al., 1964; Vyshlov and Savich, 1979). 探査機による観測としては、旧ソ連の月周回機 Luna 19 と Luna 22 が地球局から見て月で掩蔽される際に、これら周回機から送信される電波の位相が月電離層の影響で変化する様子をとらえたものがある (Vasilyev et al., 1974; Vyshlov, 1974; Vyshlov et al., 1976; Vyshlov and Savich, 1979). これらの観測では昼側の月面上に有意な電子密度が検出され、その最大密度は高度 5-10 km で  $500\text{-}1000 \text{ cm}^{-3}$  に達し、電離層全体の厚みは数十 km と報告されている。しかしこの観測結果は前述の理論的予想とあまりに違うため、観測上の誤差か、あるいは何らかの特殊な現象をとらえたものと多くの研究者からみなされている (Daily et al., 1977)。

月電離層の存在を認める立場からは、月の地殻に点在する残留磁場が太陽風を押しとどめることで荷電粒子が保護され、高い電子密度を実現できるのではないかと考えが提案されている (Savich, 1976)。月面上の朝の領域など限られた場所では、地表から大量の Ar が放出されて局所的に濃い大気が生じ、結果的に濃い電離層が作られる可能性もある (Daily et al., 1977)。月面近傍の鉛直電場により微細なダストが高度数十 km にまで舞い上がっていることが指摘されているが (Stubbs et al., 2006)、そのようなダストに太陽紫外線が入射して光電子が発生している可能性もあるだろう。

我々は「かぐや」(SELENE) ミッションにおいて、子衛星 Vstar, Rstar を用いた電波掩蔽の方法により、この謎に包まれた月電離層の観測を試みている (Imamura et al., 2008)。衛星が地上局から見て月の背後に隠れるときや月の背後から現れるとき、衛星から送信された電波は月面近傍を通過して地上局に届く。この受信電波の位相が月電離層の影響でずれる様子を捉えようというのである。手法自体は Luna 19, 22 と原理的に同じだが、今回は遥かに多数回の観測を行うことや 2 機の衛星を使う新たな方法により、月電離層の有無に決着を付けるとともに、存在する場合にはその存在形態を明らかにしていく (Oyama et al., 2002; Nabatov et al., 2003)。