

AKRの干渉縞を利用した月電離層探査に関する研究

後藤 由貴 [1]; 藤本 貴政 [1]; 笠原 禎也 [1]; 熊本 篤志 [2]; 小野 高幸 [3]
[1] 金沢大; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [3] 東北大・理

Exploration of the lunar ionosphere using the interference pattern of the AKR spectrum

Yoshitaka Goto[1]; Takamasa Fujimoto[1]; Yoshiya Kasahara[1]; Atsushi Kumamoto[2]; Takayuki Ono[3]
[1] Kanazawa Univ.; [2] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.

The evidence of the lunar ionosphere provided by radio occultation experiments performed by the Soviet spacecraft Luna 19 and 22 has been controversial for these three decades because the observed large density is difficult to explain theoretically without magnetic shielding from the solar wind. The KAGUYA mission gives opportunity to investigate the lunar ionosphere with another method. The LRS-NPW and WFC instruments on board the lunar orbiter KAGUYA often observed auroral kilometric radiation (AKR) propagating from the earth. Dynamic spectra of the AKR sometimes shows a clear interference pattern which is caused by phase differences between direct waves and waves reflected on a lunar surface or a lunar ionosphere if it exists. Then, the feasibility to detect the lunar ionosphere from the interference patterns was verified. From the f-t diagram obtained by the KAGUYA, a good resolution of the reflection altitude is obtained under a specific orbital condition for the arrival angle of the AKR. Our result shows that most of the observed interference patterns are consistent with the theoretical one which is calculated for the lunar surface reflection, regardless of day and night. This implies that broad-scale ionosphere like the earth does not exist on the moon. However, a few observations do not correspond to the theoretical interference pattern for the lunar surface reflection. We would like to examine observation conditions of such exceptional cases.

月の電離層は地球の電離層と比較すると非常に希薄であり、その密度は理論的には太陽風のプラズマ密度 (1-5 個/cc 程度) と同程度もしくはこれより小さいとされている。一方で、1970 年代のソ連の Luna 19,22 による観測では、月の上空数 10km まで 500-1000 個/cc の電子が存在するという観測結果が示された。この高密度の電離層の観測結果は、太陽風に対する磁気シールドなしには説明が難しいため、未だに論議的となっている。月は地球のようなグローバルな磁場は持たないが、磁気異常 (ミニ磁気圏) とよばれる局所的に強力な磁場をもつ領域が存在することが確認されており、この領域でのみ電離層が形成されているのかも知れない。また、月の昼夜境界付近では、電荷を帯びたダストが舞いあげられていることが知られているが、これと同じ機構で特定領域においてのみ荷電粒子が集中して浮遊している可能性も考えられる。いずれにせよ高密度の電離層が存在するためには、何らかの荷電粒子の輸送もしくは停留機構が存在することになり、その調査は月電磁気環境にかかわる興味深い課題であるといえる。

かぐやプロジェクトでは、子衛星を用いて Luna と同様に月の掩蔽を利用した電離層探査が行われた。この方法では、2 周波の信号を利用することにより、観測点から地上局までの TEC (total electron content) を計測し、地球電離層の影響を差し引くことで、月の電離層の計測を行っている。優れた空間分解能が得られるという利点がある反面、計測精度が地球の電離層の見積もり精度に依存するというデメリットがある。一方、かぐや衛星には低周波の波動を観測する装置 LRS-NPW および WFC が搭載され、衛星に到来する自然波動のデータが継続的に取得されている。Luna で観測された電子密度の値はプラズマ周波数に換算すると 200kHz-300kHz に相当し、かぐやで高周波で観測されている地球起源の AKR 波の周波数帯域と一致している。本研究では、この AKR 波の月面反射高度を解析することにより、月電離層の調査を試みている。

かぐや衛星で観測された AKR 波のスペクトルには、観測条件によって大きな縞構造がみられる場合がある。これは、地球からかぐや衛星に直接到来した波動と、月面で反射されてから到来した波動が干渉することにより生じている。電離層が存在する場合、波動は月面まで到達せずその上部の電離層で反射されるため、月面反射と比べて行路長が短くなる。干渉縞の間隔は直接波と反射波の行路長の差によって決まるが、この縞間隔から反射高度の判別がどの程度可能かレイトレーシングを用いて理論検討したところ、到来方向に対して特定の観測軌道条件を満たすときには、かぐやの観測分解能で、数 10km の高度の電離層が判別できることが分かった。これまでに解析したデータでは、月の昼夜にかかわらず、ほとんどのケースにおいて月面反射により生じる理論的な縞間隔と実測の間に大きな矛盾はなく、定常的な広域電離層の存在については否定的な結果が得られている。しかし、一部の観測例に対しては、月面反射では説明がつかない縞構造が得られており、こうしたケースの解釈と観測条件について今後詳しく検討してゆく予定である。