

要旨

本論文では、NASA/ESA 土星周回衛星 Cassini に搭載されたラングミュアプローブで得られたデータから電子密度を導出する方法を構築し、土星磁気圏エンケラドス軌道付近の電子密度構造について議論する。

土星磁気圏を満たすプラズマは、惑星大気と太陽風から供給されるものの他に、磁気圏内に存在するダストリングや氷衛星に起因するものがあり、この点で地球磁気圏とは大きく異なる。土星周回衛星 Cassini の観測により、土星衛星エンケラドスの南極付近からは氷が吹き出され、上空にプルームが形成されている事が明らかになった。放出された粒子は土星磁気圏に広がり、Eリングを形成し、その中の中性粒子は荷電交換反応や太陽 UV などによって電離しプラズマとなり、結果、土星磁気圏ダイナミクスに影響を与える事が期待される。更に近年の観測では、Eリングやエンケラドス付近のダストが周辺プラズマの電子を表面に吸着し荷電粒子となりプラズマの一部となる現象(ダスティプラズマ)が報告されている。この結果、周辺プラズマでは電子密度がイオン密度に比べ低く観測される事となる。Eリング周辺での電子の密度構造を調べることで、ダスティプラズマの広がりを明らかにする事ができる。

本研究では Cassini 衛星搭載の Radio Plasma Wave Science (RPWS) /Langmuir Probe (LP) で得られた高時間分解(20Hz)固定バイアスモードのデータを使用し、直接電子密度を導出する方法を検討した。Eリングの土星スピン軸方向の厚みは $\pm 0.1R_S$ 程度でしかないが 20Hz のサンプリング時間であれば、その構造を十分に追う事ができる。ただし、本来 LP による電子密度の導出にはスイープモード(プローブに加電圧を連続的にして電流特性を得るモード)データを理論式にフィッティングする必要があり、これまで固定バイアスモードデータはスイープモードによる電子密度データを時間的に補間する形で扱われてきた。我々は、土星内部磁気圏のプラズマ特性を利用して固定バイアスモードデータで、より簡単に電子密度を導出する過程を開発した。ラングミュアプローブの理論式では、プローブ電流値は電子密度(N_e)、電子温度(T_e)、プラズマ電位(U_{float})の関数であるが、まず電子温度はプラズマ電位(U_{float})に比例するものと予想した。Cassini が土星磁気圏の幾つかの軌道で観測したスイープモードの解析結果から導出したプラズマ電位と電子温度には予想通り比例関係がある事を確認した。また、プローブ電流値、電子密度、プラズマ電位にもほぼ比例的な関係がある事を経験的に明らかにした。これにより、固定バイアス電流値とプラズマ電位から電子密度が同定できる。更に、プラズマ電位とプローブ電流ゼロ電圧値(プローブの電流がゼロになる電圧値)にもほぼ比例の関係がある事を確かめた。結果として、土星内部磁気圏内の電子密度をプローブ電流ゼロ電圧値

(U_0)とプローブ固定バイアス電圧電流データのみによってプロキシとして導出する事が可能となる。

最後に、我々は得られた導出方法を使ってエンケラドス軌道付近の惑星スピン軸方向の電子密度構造を調べた。この結果、以下のことが明らかになった。

- 電子密度は赤道面付近で最大になる形状をしているが、幾つかの軌道で電子密度が凹型の減少傾向を持つ。これは荷電ダストが周辺電子を吸着した結果と期待される。しかし、凹型の電子密度減少傾向はすべての例で必ずしも確認はできなかった。
- 凹型の電子密度減少傾向の極小の位置は、どの例も $Z=0$ 付近に集中していた。
- 凹型の電子密度減少傾向領域の Z 幅は、約 $0.09R_S$ で、これまでで観測された E リングの幅と大体一致していた。
- 凹型の電子密度減少傾向の密度最大値は南北で非対称性があり、北半球で最大密度が高い傾向があった。
- 凹型の電子密度構造の発生領域で、ローカルタイム依存性やエンケラドスに対しての位相角依存性は確認できなかった。

以上の結果から、エンケラドス軌道上の E リング付近では電子密度が荷電ダストの影響を受けて減少する現象がしばしばある事が確認でき、その空間特性に南北の非対称性がある事を見いだした。