

衛星観測から解明する地球磁気圏の磁場・プラズマ構造及び太陽風との関係

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学本部 宇宙プラズマ研究系
野和田 基晴

太陽系の惑星探査は、主に米国(米国航空宇宙局:NASA)、欧州(欧州宇宙機関:ESA)、日本(宇宙航空研究開発機構宇宙科学本部:JAXA/ISAS)等で打ち上げられている人工衛星によって現在盛んに行われている。我々、宇宙プラズマ研究の分野における惑星探査の目的は惑星の近傍に形成される磁気圏及びその内部のプラズマがどのような構造になっているのか、更にはこれらの構造が太陽風と呼ばれる約400km/s程の速度を持った高速のプラズマ流によってどのように変動しているのかを明らかにすることである。今回の講演では、最も観測されている地球に焦点を当てる。1992年にNASAとJAXA/ISAS(当時は文部省宇宙科学研究所:ISAS)が共同開発し、打ち上げた地球磁気圏観測衛星GEOTAILと1994年にNASAが打ち上げた太陽風観測衛星WINDの2機の人工衛星観測から、地球磁場が太陽風の磁場とどのように相互作用し、地球磁気圏の磁場及びプラズマが形成されるのかを中心に解説し、その実際の観測結果についてレビューを行う。

太陽風と地球磁気圏磁場の代表的な相互作用として知られているのは磁気リコネクションと呼ばれる現象である。磁気リコネクションは磁気圏磁場と太陽風磁場が互いに反平行の磁場配位になった時に起こりやすい現象であり、これらの磁場が初めて遭遇する磁気圏境界層と呼ばれる領域で頻繁に観測される。通常、プラズマは磁力線と共に運動しており、他の異なる性質のプラズマと混合することはない。これは磁場凍結の原理($\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B} = 0$)が成立しているためである。しかし、磁気リコネクションと呼ばれる現象が発生することにより、磁場凍結の原理は破られ、異なる領域の磁力線同士が再結合することで、ある領域で磁力線と共に運動していたプラズマ粒子は他の領域の磁力線へ移動することが出来るようになる。つまり、磁気リコネクションにより、異なる性質を持つプラズマ粒子同士がある領域において混合することが出来るのである。この磁気リコネクションの概念は1960年代初頭にDungeyによって提唱され、太陽風プラズマが地球磁気圏内へ浸入し、地球磁気圏内の磁場・プラズマの構造を形成するための物理過程の1つであると考えられている。

しかしながら、太陽風プラズマの地球磁気圏内へ浸入する過程は磁気リコネクションだけではない。磁気圏境界層においてケルビン-ヘルムホルツ擾乱と呼ばれる速度差(速度シェア)によって誘起される擾乱によって発生する地球半径(6378 km)程度の大規模な渦によっても、太陽風プラズマは地球磁気圏プラズマと混合され、磁気圏内に浸入(巻き上げられている)ことも分かっている。こちらは磁気リコネクションと対照的な磁気圏磁場と太陽風磁場との相互作用であり、磁場凍結の原理を破ること無しに、太陽風プラズマを地球磁気圏内へと輸送することが可能である。このケルビン-ヘルムホルツ擾乱による渦は太陽風磁場と磁気圏磁場が同方向の時に発生する。

本講演では磁気圏磁場と太陽風磁場との相互作用によって磁気圏内部で発生する現象(サブストーム)や、それによって地上で観測されるオーロラについてもレビューを行う。更には、現在、ISAS/JAXAで計画されている将来の惑星探査計画も時間の許す限り紹介する予定である。