

電波による地球磁気圏プラズマの密度測定法の開発

Development of a Radio Technique using Multi-spacecraft for Plasma Imaging in the Magnetosphere

筒井 稔[1], 水出 梨絵[2]

Minoru Tsutsui[1], Rie Mizuide[2]

[1] 京産大・工, [2] 京産大・理・計算機科

[1] Info. Commu. Sci. Kyoto Sangyo Univ., [2] Comp. Sci., Kyoto Sangyo Univ

GEOTAIL 等様々な観測衛星によって地球磁気圏におけるプラズマの詳細な振る舞いが一段と明らかに成ってきた。しかし、磁気圏全体におけるプラズマの流れや滞留、太陽活動に伴うそれらの変動についてはまだまだ不明な部分があり、これからの研究テーマとなっている。これらを明らかにするには、電波を用いたリモートセンシング等の能動実験により広範囲な宇宙空間全体のイメージ観測法を開発する必要がある。Ergun 等[1]はこの問題に着目し、地球磁気圏を含む領域のプラズマ密度分布のイメージングを目指して、複数衛星による観測法を提唱している。この観測法は、地球磁気圏を包含するような衛星軌道上で適当な距離を隔てて周回する複数の観測衛星から電波を放射しながら、且つ互いに他の衛星からの電波を受信し、その信号強度を記録しておくというものである。そして、全ての衛星で取得されたそれらのデータを用いてトモグラフ解析を行うことにより、衛星軌道の内側の磁気圏空間内の電子密度の空間分布を求めようとするものである。

我々がここで提唱するのも複数衛星間での電波の送受信である。このデータ解析の最終ではトモグラフ解析も行うが、基本的には in-situ で電波通路域でのプラズマ情報をそのまま得ようとするものである。衛星が軌道上を移動する事で電波通路（観測領域）も移動するので、空間をスキャンしてそれを測定できる。注目すべきは電波応用の方法が特殊である事である。即ち、使用する電波としては FM-CW 波を用いる。その特徴は信号強度を取得するだけでなく、電波通路上での最大プラズマ密度をも検出でき、更に空間内プラズマ密度変動をも検出できる。しかもこの方式は受信機において解析すべき信号のバンド幅を極めて狭くする事が出来るので、電磁界雑音の多い地球磁気圏内を伝搬してきた信号でも効率良く検出できる。更に、その信号からは衛星間の距離と相対速度をも同時に求めることができるので、データ解析も容易になる（測定原理の詳細については[2,3]を参照のこと）。我々はこの新たな観測法の実現に向けて、その装置の主要部の開発を続けてきて、その実現に見通しが付いたのでここで報告する。

この観測での一番重要な部分は、衛星から放射する信号（受信信号と比較するための信号でもある）FM-CW 波形の生成である。しかも複数衛星間でそれら波形が同期している必要がある。これを実現させるキーポイントは、各衛星に高精度の原子発振時計を搭載する事、それによって制御される FM-CW 波形がデジタル的に生成されなければならない事である。これに関して、従来の開発[3]では、FM-CW 波形そのものの数値データを予め ROM に記録しておき、観測時にそれを順次読み出して D/A 変換してアナログ波形として生成する事を考えた。しかし、その方式では必要な ROM のメモリー容量は膨大なものになり、重量等で実現が困難であった。我々はこの部分を DSP による処理で実現させること目指して開発を続けてきた[4]。その結果それを実現させる事に成功した。送信開始周波数、周波数変化の時間勾配など、極めて自由度のある FM-CW 波形を生成できる方法を実現させた。

[1] R.E.Ergun, et al., Feasibility of a multisatellite investigation of the Earth's magnetosphere with radio tomography, J. Geophys. Res., 105, 361-373, 2000.

[2] 筒井稔、小嶋浩嗣、長野勇、松本紘、「惑星大気観測のための親子衛星間電波伝搬実験」、第6回科学衛星・宇宙観測シンポジウム、宇宙科学研究所、194-196, 1998.

[3] 筒井稔、波動観測班、「波動によるプラズマポーズの空間分布測定」、平成11年度磁気圏・電離圏シンポジウム、宇宙科学研究所、48-50, 1999.

[4] 筒井稔、水出梨絵、「惑星プラズマ大気観測用親子衛星間電波伝搬実験装置の開発」、搭載機器基礎開発成果報告書、宇宙科学研究所、Vol. 14, 142-150, 2001.