

プローブ法による宇宙空間電場計測：精度評価

DC electric field measurement by the probe system in space plasma: Evaluation of the accuracy

笠羽 康正[1], 岡田 敏美[2], 石坂 圭吾[3], 早川 基[1], 松岡 彩子[1], 竹井 康博[4]

Yasumasa Kasaba[1], Toshimi Okada[2], Keigo Ishisaka[3], Hajime Hayakawa[1], Ayako Matsuoka[1], Yasuhiro Takei[4]

[1] 宇宙研, [2] 富山県大・工・電子情報, [3] 富山県大, 工, 電子情報工, [4] 東大・理

[1] ISAS, [2] Electronics and Informatics, Toyama Pref Univ, [3] Electronics and Informatics, Toyama Pref. Univ., [4] University of Tokyo

宇宙空間の電場観測は、巨視的なプラズマ運動や MHD 近似からの破れ検出などの現象を観測するうえで基本的な物理量のひとつである。現在、二つの球プローブの電位差を測定する方法（プローブ法）と、電子のサイクロトロン運動時間を利用する方法（ビーム法）が用いられる。前者はより安定で定常観測が可能だが、定量的なモデル化が不十分で大きなオフセットやゲインの変動に悩まされる。これまで試行錯誤によって改良が試みられてきたが、地上試験ができず信頼性の高い測定法として確立していない。このことが、宇宙プラズマにおける電場現象、特に磁気再結合現象に代表される磁気流体近似が破れるエネルギー過程の解明の上で障害のひとつとなっている。

宇宙の希薄プラズマ中での導体電位は、光電子放出および周辺プラズマ流入によって支配され、前者が支配的であることに特徴がある。このような環境は実験室での再現が困難で、性能は「宇宙空間で展開しないとわからない」。このため、衛星本体の電位・プラズマ電流による影響や電位デバイ長が極めて大きくなる極低密度領域での振舞など、プローブ設計の前提となる事項が未解決のままである。

この状況を打破し、プローブによる電場計測手法の定量的モデル及び評価手法を確立するには、以下の検討が必要である。

1) 宇宙プラズマ中におけるプローブ特性のモデル化。光電子電流・プラズマ流入電流によって支配されるプローブを巡るプラズマ現象を、実験室データおよび衛星観測データを基礎に定量モデル化する。旧来モデルでは、光電子電流のスペクトルはマックスウェル近似によって扱われ、現実とは異なる。また、周辺プラズマ流入電流へのプローブ周辺電位の影響が指摘されているが、暫定的な実験式として考慮されるに留まる。衛星表面材料の実験室データおよび衛星データを用いて、両者の定量モデルを構築する。

2) 衛星電場計測観測データの再評価。信頼性を損なう要因となっているオフセット変動・実行長変動などの特性をプローブモデルとの比較によって定量的に把握し、測定精度の向上を図る。1)を基礎として、宇宙プラズマ中における導体の浮動電位・インピーダンス特性などの定量モデルを作成し、衛星の実環境を考慮したプローブ特性の定量的理論を確立する。実際の衛星計測では、表面素材の不均一や劣化、デバイ長の影響、衛星の部分帯電などが誤差要因として入る。GEOTAIL 衛星データを用いてモデルとの比較によりこれらを評価、データ精度の向上を図る。

3) 数値シミュレーション環境の構築と各種プローブの評価。定量的な衛星プローブの設計には、モデルを基礎とした数値シミュレーションが必要である。粒子コードによる実際的な設計解析を可能とすべく、数値コードの開発を開始する。

これにより、過去に得られた衛星データの大幅な信頼性向上を実現できるとともに、電場計測プローブの定量的・合理的な開発指針を得ることが可能となる。これにより、有効な利用が阻まれている電場データの絶対精度を、科学目標から要求される“sub mV/m”（現在は時に数 mV/m）へ向上させうる道を見つきたい。現在人口衛星に用いられている電場プローブには、日本で開発された GEOTAIL 型と、プローブ - 衛星間にガード電極を持つ CLUSTER 型があるが、いずれも理論的な検討が不十分な状況にある。日欧共同で検討が進む水星探査計画では両者の搭載を検討しており、本研究はこの検討の出発点となる。また、次世代磁気圏探査計画「SCOPE」における電場プローブ開発の土台ともなる。

本論文では、これら検討の途中経過について報告する。