

宇宙プラズマの3次元速度分布関数の直接観測

In-situ observation of the three dimensional distribution function of space plasma

齋藤 義文 [1]; 高島 健 [2]; 浅村 和史 [2]; 平原 聖文 [3]; 横田 勝一郎 [4]; 小笠原 桂一 [5]; 齋藤 実穂 [6]; 笠原 慧 [7]; 田中 孝明 [8]

Yoshifumi Saito[1]; Takeshi Takashima[2]; Kazushi Asamura[2]; Masafumi Hirahara[3]; Shoichiro Yokota[4]; Keiichi Ogasawara[5]; Miho Saito[6]; Satoshi Kasahara[7]; Takaaki Tanaka[8]

[1] 宇宙研; [2] 宇宙研; [3] 立大・理・物理; [4] なし; [5] ISAS/JAXA; [6] なし; [7] 東大/理/地球惑星科学 (ISAS); [8] 東大・理・地球惑星

[1] ISAS; [2] ISAS/JAXA; [3] Department of Physics, Rikkyo University; [4] JAXA; [5] ISAS/JAXA; [6] None; [7] Earth and Planetary Sci., The Univ. of Tokyo; [8] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.

現在、我が国では宇宙プラズマの直接観測を行う将来ミッションとして、水星磁気圏探査ミッション BepiColombo/MMO、地球の内部磁気圏探査ミッション ERG、5機の親子衛星による編隊飛行磁気圏ミッション SCOPE などが計画、検討されており、これらのミッションに向けて新しい観測装置の開発を進めている。これらの観測装置開発において目標としているのは以下に詳しく述べるように次の2点、即ち「数 eV 以下から数 MeV 以上の非常に広いエネルギー範囲をエネルギーの間隙なく、同時に計測できる観測装置群の開発」及び「電子の時間スケールに迫るミリ秒の時間分解能を持つ高時間分解能観測装置の開発」である。同時に、これらの人工衛星搭載用観測装置には高い性能を維持したまま小型、軽量であることが要求される。

地球磁気圏、あるいは惑星上層大気に存在するプラズマは、数 eV 以下から数 MeV 以上の非常に広いエネルギー範囲に渡って存在している。これらのプラズマの起源は太陽風や地球を含む惑星の大気や表面物質が電離されて惑星周辺空間に流れ出したものなどである。しかしながら、太陽風イオンの平均的なエネルギーは数 keV 程度、地球上層大気プラズマは eV 程度のエネルギーしか持っておらず、これらの荷電粒子がどのようなメカニズムで数 MeV 以上にも加速されるのかは磁気圏物理学における未解決の大きな問題である。これらの、地球磁気圏、惑星磁気圏、上層大気ダイナミクスを理解する上で鍵を握る荷電粒子の加速メカニズムを解明するには、eV 程度のエネルギー領域から MeV 以上のエネルギー領域までの全てのエネルギーレンジで、同時にイオン、電子両方の三次元速度分布を、イオンについては質量を分解しつつ直接観測することが必要不可欠である。この中で特に中エネルギー領域 (10keV ~ 100keV) の観測器については、荷電粒子の加速機構を理解する上で非常に重要であるにもかかわらず、これまで我が国では開発されていなかった。低エネルギー領域 (1eV ~ 30keV) の荷電粒子は静電場による粒子軌道偏向を用いた静電型エネルギー分析器で観測されてきた。また、高エネルギー領域 (30keV ~ MeV) の荷電粒子については、半導体検出器 (SSD; Solid State Detector) を用いてエネルギー・質量分析がなされてきた。しかし、SSD では検出器自身が持つノイズの問題で、エネルギー分解能が 10keV のオーダーとなってしまう。このため、100keV 以下のレンジで静電型エネルギー分析器と同程度のエネルギー分解能を得ることは極めて難しい。そこで、静電型エネルギー分析器の手法を 100keV まで拡張することを念頭に中エネルギー領域のイオン質量分析器を開発している。一方、中エネルギー領域の電子観測を行う場合、静電型分析器で通常検出器として用いられる MCP (Micro Channel Plate) や CEM (Channel Electron Multiplier) では検出効率を決定することが困難であり、SSD では特に低エネルギー側について検出が難しいという問題点がある。現在、新型電子検出器として低エネルギー電子に対しても感度を有する APD (Avalanche Photo Diode) を適用することを考えて中エネルギー領域の電子分析器を開発している。

従来、磁気圏観測衛星で用いられて来た低エネルギー電子・イオンの計測センサーは数秒程度の時間をかけて電子やイオンの3次元速度分布を計測するものであった。数秒の時間分解能で計測を行った場合、地球磁気圏尾部の領域では水素イオンのジャイロ周期がほぼ数秒であることから水素イオンの微視的な分布とその時間・空間変化を明らかにすることができる。日本と米国の共同ミッションである GEOTAIL (1992-) は非常に質の高い、プラズマの直接観測データによって磁気圏の現象の運動論的な視点からの研究を可能にした。GEOTAIL 衛星はイオンスケールのダイナミクスが地球磁気圏のダイナミクスに中心的な役割を果たしているリコネクション領域の近傍で重要である事を示した。しかし同時に GEOTAIL 衛星による観測と計算機シミュレーションによる観測データの解釈は、磁気リコネクション領域の近傍では、イオンスケールより更に小さい電子スケールのダイナミクスが大きな役割を果たしていることを予測するに至った。イオンに比べて遥かに短い特性時間を持つ電子の微視的な分布とその時間・空間変化を計測する為に従来低エネルギー電子計測センサーの時間分解能を 1000 倍近くに上げた観測を行う必要がありこれまでに無い高時間分解能をもった低エネルギー電子計測センサーの開発を進めている。