

S001-39

A 会場 : 11/5 PM2 (15:45-18:15)

17:20~17:45

## 宇宙プラズマ観測用質量分析装置の開発：太陽系探査への展開

#横田 勝一郎<sup>1)</sup>, 齋藤 義文<sup>2)</sup>, 浅村 和史<sup>3)</sup>, 笠原 慧<sup>4)</sup>, 青木 順<sup>5)</sup>, 河井 洋輔<sup>1)</sup>, 寺田 健太郎<sup>1)</sup>, 豊田 岐聡<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup>大阪大, (<sup>2)</sup>宇宙研, (<sup>3)</sup>宇宙研, (<sup>4)</sup>東京大学, (<sup>5)</sup>理化学研究所 生命機能科学研究センター

## Development of Mass Spectrometer for Space Plasma Observation and Solar System Exploration

#Shoichiro Yokota<sup>1)</sup>, Yoshifumi Saito<sup>2)</sup>, Kazushi Asamura<sup>3)</sup>, Satoshi Kasahara<sup>4)</sup>, Jun Aoki<sup>5)</sup>, Yosuke Kawai<sup>1)</sup>, Kentaro Terada<sup>1)</sup>, Michisato Toyoda<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup>Osaka Univ., (<sup>2)</sup>ISAS, (<sup>3)</sup>ISAS/JAXA, (<sup>4)</sup>The University of Tokyo, (<sup>5)</sup>RIKEN BDR

In the interplanetary space of the solar system, supersonic plasma (solar wind) blowing from the sun is dominant, and each planet and moon in the solar system is affected by it in its own way. As a result, plasma phenomena such as shock and magnetic reconnection are formed in a wide range of parameter space. Thus, the solar system has been treated as a "natural" giant experimental facility for plasma research, an ideal location for in-situ observations by spacecraft. Since the establishment of spacecraft technology, many spacecraft plasma observation programs have been carried out, and plasma measurement technology has progressed along with the research of the space plasma, extending the observation area from the near-Earth to the inner planets and deep space.

In the charged-particle measurement of in-situ plasma observation, it is required to obtain three-dimensional velocity distribution functions of electrons and ions with appropriate resolution at first. However, solar wind ions contain not only H<sup>+</sup> but also He<sup>++</sup> and multi-charged heavy ions, although their abundance ratios are small. Therefore, mass spectrometers have been used in plasma observation programs from a relatively early stage. Plasma observations in the lunar and planetary neighborhoods have revealed that many kinds of heavy ions are flying around, and the importance of mass spectrometers has only increased.

In in-situ observations of plasmas, mass spectrometry is first of all important to capture the plasma physics accurately. Energy analysis alone treats everything as H<sup>+</sup>, which leads to errors in moment calculations, etc., depending on the ratio of heavy ions present. It has also been reported that different acceleration and heating occurs depending on the ion species (mass) in the interaction with the surrounding waves.

The second importance of mass spectrometry is to know the origin of the plasma. In planetary (magnetospheric) observations, mass information plays a major role in identifying the entry of solar wind plasma into the magnetosphere and the ejection of planetary plasma into the solar wind region (atmospheric escape).

Here, we introduce the principles of mass spectrometers onboard spacecraft and their scientific results, including KAGUYA (Moon), BepiColombo/MIO (Mercury), and Arase (Earth radiation belt), in which we have participated from instrument development. We are also developing high-resolution mass (isotope) spectrometers to elucidate the age and origin of materials and the evolution of atmosphere, based on our past development experience. We will introduce mass spectrometers for Mars Moons eXploration, Comet Interceptor, and LUPEX.

太陽系惑星間空間では太陽から吹き付ける超音速プラズマ（太陽風）が支配的であり、太陽系を構成する月惑星はそれぞれ独自の影響を受けている。その結果、広範囲に及ぶパラメータ空間で衝撃波や磁気リコネクション等のプラズマ現象が引き起こされているため、太陽系はプラズマ研究において「天然の」巨大実験施設として宇宙機による「その場 (in-situ)」観測を行う絶好の場所として扱われてきた。宇宙機技術が確立されて以来数多くの宇宙機によるプラズマ観測計画が実施され、研究と共にプラズマ計測技術も進展し、観測領域は地球近傍から内惑星や深宇宙へと広がっていった。

プラズマ「その場」観測のうち荷電粒子計測では電子・イオンの三次元速度分布関数を適切な分解能で取得することが始めに求められる。しかしながら、太陽風イオンには H<sup>+</sup> に加えて He<sup>++</sup> も存在し、存在比は僅かだが酸素等の重イオンも混在している。そのため、プラズマ観測計画では比較的早い段階から質量分析器も利用されてきた。月惑星近傍の観測では多くの種類の天体起源重イオンが飛び交っている状況も明らかになり、質量分析器の重要性は高まる一方となった。

プラズマの「その場」観測において質量分析は、第一にプラズマ物理を正確に捕捉するために重要である。エネルギー分析のみの場合は全てを H<sup>+</sup> として処理するため、モーメント計算などで重イオンの存在比に応じた誤差が生じてしまう。波動との相互作用においてイオン種（質量）に依存して異なる加速加熱が起きていることも報告されている。

質量分析の第二の重要性としてはプラズマの起源を知ることが挙げられる。惑星近傍（磁気圏）での観測では、太陽風プラズマの惑星圏への侵入や惑星起源プラズマの太陽風領域への放出（大気散逸）の同定において、質量情報が大きな役割を果たしている。

ここでは、これまでの太陽系探査の中でプラズマ観測衛星に搭載された質量分析器の原理やその科学成果を、私たちが機器開発から参加した「かぐや」（月）、「ベピコロombo/MMO」（水星）、「あらせ」（地球放射線帯）、などを例に紹介する。また、私たちは太陽系探査計画への展開として、天体物質の年代・起源、天体大気の進化の解明を目的とした高分解能質量（同位体）分析器も現在開発中である。搭載を予定している将来計画 Mars Moons eXploration, Comet Interceptor, LUPEXなどを例として紹介する。