

## 実験室プラズマにおける波動・粒子相互作用の直接観測実験

# 小木曾 舜 [1]; 加藤 雄人 [2]; 下山 学 [1]; 平原 聖文 [1]; 文 贊鎬 [3]; 金子 俊郎 [3]; 小嶋 浩嗣 [4]  
[1] 名大・STE 研; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大院・工; [4] 京大・生存圏

### Laboratory in-situ experiments for plasma wave-particle interaction

# Shun Kogiso[1]; Yuto Katoh[2]; Manabu Shimoyama[1]; Masafumi Hirahara[1]; Chanhoo Moon[3]; Toshiro Kaneko[3]; Hirotsugu Kojima[4]

[1] STEL, Nagoya Univ.; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [3] Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.

Wave-particle interactions are thought to play important roles to generate MeV electrons in the radiation belt. 'Wave-Particle Interaction Analyzer (WPIA)', which derives energy flux between wave and particle from simultaneous measurements of an electric field and particle velocity vector, has been developed to observe the interaction between wave and particle in space plasma. We have been conducting two laboratory in-situ experiments for plasma wave-particle interaction as follows:

Topic #1 Application of a technique of Wave-Particle Interaction Analyzer to high-density laboratory plasma with drift waves, and Topic #2 Laboratory in-situ experiments for plasma wave-particle interaction in space plasma chamber.

In Topic #1, we have carried out the laboratory simulation using the  $Q_T$ -Upgrade Machine in Tohoku University, which is a linear magnetized plasma machine. The  $Q_T$ -Upgrade Machine consists of a vacuum chamber of 0.2 m in diameter and 4.5 m in length, and plasma sources, which generate high-temperature electrons using electron cyclotron resonance (ECR) and low-temperature thermal electrons. Thus, an electron temperature gradient (ETG) is formed in the apparatus by superposing low temperature thermal electrons on the high temperature electrons of the ECR plasma ( $n_e \sim 10^8$  #/cc). Moon et al. [Rev. Sci. Instrum., 2010] reported that low-frequency drift-waves with a frequency of  $\sim 7$  kHz were excited with ETG mode of  $\sim 0.5$  MHz. We focus on the low-frequency waves and simultaneously measures an electric field vector ( $\mathbf{E}$ ) and current vector ( $\mathbf{J}$ ). Energy fluxes between wave and particle can be calculated from inner products of  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{J}$  vectors. For the simultaneous measurements, we have developed a combination probe, which is a combination of a Mach probe for ion flow measurements and a Twin probe for electric field measurements. Radial, tangential and axial components of  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{J}$  vectors are measured by rotating and tilting the probe in cylindrical plasma.

We will report an estimated structure of drift waves derived from multi-point and directional measurements of  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{J}$  vectors as well as transient response of wave growth in detail.

In Topic #2, we have been conducting laboratory simulation using a large space plasma chamber in ISAS/JAXA. By using a multi-cusp plasma source, which confines plasma to a multi-pole cusp magnetic field, the high density Argon plasma ( $n_e \sim 10^5$ - $10^6$  #/cc) is generated. The electron beam generated by applying a certain voltage difference between the two plasma sources excites electrostatic plasma waves. Also, a wave receiver and an electrostatic plasma analyzer installed in the chamber make it possible to simultaneously measure plasma waveforms and particle velocities, which are used to calculate the energy flux between wave and particle.

近年、ジオスペースにおける放射線帯の高エネルギー電子の起源として、プラズマ波動と粒子の相互作用による粒子加速過程が重要な役割を担っていると考えられている。この波動・粒子相互作用の観測を目的として、電場波動と粒子速度の同時観測から波動・粒子間のエネルギーフラックスを算出する波動・粒子相互作用解析装置 (WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer) の開発が進められている。現在、我々は、(1) 実験室プラズマに WPIA の観測手法を応用し、ドリフト波励起過程において波動・粒子相互作用の直接観測を試みる実験と、(2) WPIA 観測技術の実証・確立を目的とする、大型スペースチャンバー内の直接計測による波動・粒子相互作用の室内観測実験の 2 つの実験を進めている。

(1) については、直線型磁化プラズマ装置である東北大学の  $Q_T$ -Upgrade Machine を用いて行った。 $Q_T$ -Upgrade Machine は直径 0.2 m、長さ 4.5 m の円筒型真空チャンバーを用いた装置であり、チャンバー内の実験領域において ECR 放電による高電子温度プラズマ ( $n_e \sim 10^8$  #/cc,  $T_e \sim 3$  eV) と低温熱電子 ( $T_e \sim 0.2$  eV) を重畳することで電子温度勾配 (ETG: electron temperature gradient) を形成することができる。電子温度勾配の制御により ETG モード ( $\sim 0.5$  MHz) が励起することを示した Moon et al. [Rev. Sci. Instrum., 2010] による実験では、ドリフト波モードの kHz 帯の低周波波動も同時に励起されることが報告されている。本研究ではこの低周波波動を対象に、電場ベクトルと電流ベクトルを同一点かつ同時に計測することで、それらのベクトルから波動と粒子のエネルギー交換量の算出を行う。計測には、電場ベクトル計測用のツインプローブと電流ベクトル計測用のマッハプローブを組み合わせたコンビネーションプローブを新たに開発し使用した。プローブを真空チャンバー内で可動させる機構を設けることにより、チャンバーの軸方向および動径方向、方位角方向の三成分ベクトルを計測可能である。

計測した電場ベクトルと電流ベクトルの内積演算から波動・粒子間のエネルギーフラックスの算出を目指しているが、現在は可動機構を用いて複数点で計測した電場波動と電流波動の位相関係を詳細に比較することで、低周波波動の三次元空間構造の推定を進めている。低周波波動はプラズマ源前方の 2 枚のグリッドの印加電圧を変化させ、プラズマ中の電子温度勾配を制御することで励起される。低周波波動が励起される前後のタイミングで電場及び電流の三成分計測を行うことで波動の成長過程も観測した。本講演ではこれらの解析結果について詳細を述べる。

(2) は JAXA 宇宙科学研究所の大型スペースサイエンスチェンバーを用いて行う。大型チェンバー内に同軸上に設置した4個の円筒型カゴ型プラズマ源により、生成した Ar プラズマを磁場で閉じ込め、 $10^5$ - $10^6$  #/cc 程度の高密度プラズマを生成させる。2つのカゴ間に電位差を与えることで電子ビームを背景プラズマ中に生成し、カゴ内に静電波動を励起する。カゴ内に設置したプラズマ波動計測器と粒子分析器によりプラズマの電場波動と粒子速度の同時観測を試みる。

本講演では(1)の解析結果に加え、(2)の実験についても紹介する予定である。