

ホイッスラーモードコーラス放射生成過程に関する計算機実験結果のWPIA計測手法による解析

北原理弘 [1]; 加藤 雄人 [1]; 小嶋 浩嗣 [2]; 大村 善治 [2]; 小野 高幸 [1]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 京大・生存圏

WPIA analysis of simulation results reproducing whistler-mode chorus generation

Masahiro Kitahara[1]; Yuto Katoh[1]; Hirotsugu Kojima[2]; Yoshiharu Omura[2]; Takayuki Ono[1]
[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.

Wave-Particle Interaction Analyzer (WPIA) measures interactions between plasma waves and energetic electrons directly and quantitatively in space plasmas [Fukuhara et al., EPS 2009]. WPIA measurements have been realized by conducting various type of calculations performed within a characteristic time scale of wave-particle interactions using wave vectors and each velocity vector of plasma particles respectively measured by wave and particle instruments onboard a spacecraft. Specifically, an example of WPIA measurements is the inner product between the velocity of particles and the electric field of plasma waves, $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$, corresponding to the variation of the kinetic energy of an individual particle and, equivalently, the gain of waves. WPIA has a capability of the direct measurement of the phase relation between waves and particles which is important in understanding interactions in space plasmas. The information of the phase relation cannot be obtained in conventional particle measurements and data processing because data integration longer than the characteristic time scale of interactions is necessary in obtaining the velocity distribution.

To evaluate the feasibility of WPIA in analyzing wave-particle interactions and to discuss details of nonlinear wave-particle interactions, we analyze a data base of the simulation results reproducing whistler-mode chorus generation by using an one-dimensional electron hybrid code. In order to simulate the WPIA measurement, we observe electromagnetic waves and the velocity vector of energetic electrons passing through the fixed observation points assumed in the simulation system, and then we conduct analyses using simulated observation results of waves and particles from the point of view of WPIA algorithms. In the result, we find significant increase of integrated values of $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ in the wave generation region representing the wave excitation. Furthermore, we find that large integrated values are observed in the region where we observe intense wave generations. In this presentation, we also show the results of data analyses based on linear and nonlinear theories and discuss the physical meaning of $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ in understanding nonlinear wave-particle interactions.

波動粒子相互作用解析装置 (Wave-Particle Interaction Analyzer; WPIA) は、宇宙プラズマ中の個々の粒子と波動の相互作用を直接的かつ定量的に計測する装置である [Fukuhara et al., EPS2009]。WPIA は衛星搭載のプラズマ波動ならびに粒子計測器をマイクロ秒オーダーで連携させ、波動電磁場ベクトルと個々の粒子の速度ベクトルとを比較、様々な演算を実施する事で波動粒子間のエネルギー交換を定量的に計測することを目的とする。具体的な計測対象の一つとしては、観測される粒子の速度ベクトルと変動電場ベクトルの内積 $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の計算が挙げられる。これは取りも直さず個々の粒子の運動エネルギーの時間変化を計算することであり、更には波動の利得を計算することと同義である。またこの WPIA の計測手法では、宇宙空間プラズマの波動粒子相互作用を理解する上で重要な粒子と波動の位相関係を直接測ることができる。この位相関係の情報は、速度分布関数を求めるためには波動粒子相互作用の特徴的な時間スケールよりも長く時間積分をする必要があったがために、従来の粒子計測とデータ処理の手法により求められた速度分布関数を解析する方法では得られなかった物理量である。

我々は $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の計算による波動粒子相互作用解析の有用性の評価と非線形波動現象の物理的性質の探求という2つの視点から、1次元電子ハイブリッドコードによるホイッスラーモードコーラス放射のシミュレーション結果を用いて WPIA 計測に基づいた解析を行った。この際、シミュレーション空間中の複数のグリッド点を観測点とみなし、各グリッド点での波動電磁場成分および通過する粒子データを用いた。その結果、ホイッスラーモード波動の励起が確認でき得る場所の粒子及び波動の情報から求めた $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の積算値は、実際に波動の励起を示す値となる事を確認した。また励起される波動振幅の増大に従い、 $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の積算値も大きな値となることを示した。今回の発表ではこれらの解析結果に加えて、線形理論により予測され得る成長率、実際の振幅の成長率、及び $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の積算値との比較ならびに非線形波動現象における $\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$ の物理的意味を議論する。