

THEMIS 衛星データを用いた EMIC による高エネルギーイオンピッチ角散乱の直接観測手法

北原理弘 [1]; 加藤 雄人 [1]; 小路 真史 [2]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] STE 研

Direct measurement of the pitch angle scattering of energetic ions by EMIC using THEMIS data

Masahiro Kitahara[1]; Yuto Katoh[1]; Masafumi Shoji[2]
[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.

In recent studies, Electromagnetic Ion Cyclotron (EMIC) waves with a frequency drift are observed by various satellites in the Earth's inner magnetosphere (Cluster: Pickett et al., 2010; Akebono: Sakaguchi et al., 2013; THEMIS: Nakamura et al., 2014). The phenomena are called EMIC triggered emissions are reproduced by the one-dimensional hybrid simulation (Shoji and Omura, 2011, 2013). EMIC waves are generated by energetic ions and can also scatter the pitch angle of energetic ions through the cyclotron resonant interactions. Since EMIC triggered emissions are nonlinearly generated coherent and large amplitude waves having spectral fine structures, we can expect that the pitch angle of energetic ions are effectively scattered by EMIC triggered emissions. Indeed, simulation results show that the velocity distribution function of ions is strongly modulated by the EMIC rising tones (Shoji and Omura, 2013).

Fukuhara et al. (2009) proposed a new type instrument called Wave-Particle Interaction Analyzer (WPIA) as a new means of the study of wave-particle interactions. One of methods of the WPIA is to calculate the energy exchange between waves and particles and the method enables us to evaluate wave-particle interactions directly and quantitatively (Katoh et al., 2013). The method is applied to EMIC rising tones observed by the THEMIS satellite and the feasibility of the method and the adequacy of the nonlinear theory (Omura et al., 2010) is evaluated (Shoji et al., SGEPS meeting 2014). In addition to the method to detect the energy exchange, we have proposed a method to directly detect the pitch angle scattering of resonant particles by calculating G (Kitahara et al., SGEPS meeting 2014). The G is defined as the accumulation value of a pitch angular component of the Lorentz force acting on each particle and indicates the lost momentum of waves.

The purpose of this study is to apply the method we proposed to detect pitch angle scattering to EMIC rising tones by analyzing the THEMIS observation data and to validate the feasibility of the method. The Electrostatic Analyzer (ESA) installed on THEMIS can detect ions in the energy range from 5 eV up to 25 keV with 32 energy channels. The ESA is designed with 180 degrees x 6 degrees fields-of-view and sweeps out 4 pi steradians every 3 s spin period. Since the maximum azimuthal angle resolution of the ESA burst-mode data is 22.5 degrees and the ESA is operated with 32 energy sweeps for each azimuthal angle channel, the time resolution of the count rate detected by the ESA is 6 ms. The sampling frequency of burst-mode data of both the Electric Field Instrument (EFI) and the Fluxgate Magnetometer (FGM) are 128 Hz. Therefore, the THEMIS data of particles and waves have enough time resolutions to be applied the WPIA method to the EMIC rising tones with the frequency of ~ 1 Hz. In this study we discuss the principle and procedure of analysis to calculate the G values using these data.

近年、地球内部磁気圏を探索する科学衛星の観測結果から、周波数の時間変化を伴う EMIC (Electromagnetic Ion Cyclotron) 波動の存在が報告されている (Cluster 衛星: Pickett et al., 2010; あけぼの衛星: Sakaguchi et al., 2013; THEMIS 衛星: Nakamura et al., 2014)。この現象は EMIC トリガード放射と呼ばれ、ハイブリッドシミュレーションによってその励起過程が再現されている (Shoji and Omura, 2011, 2013)。EMIC 波動は数 keV 帯の高エネルギーイオンとのサイクロトロン共鳴を通じて励起されるが、励起された EMIC 波動は高エネルギーイオンをピッチ角散乱することが知られている。EMIC トリガード放射は強い非線形性を伴うため、効率的なイオンのピッチ角散乱が期待され、実際にシミュレーションにおいて EMIC トリガード放射がイオンの分布関数を強烈に変形させることが確認されている (Shoji and Omura, 2013)。

近年 Fukuhara et al (2009) によって波動粒子相互作用解析装置 (Wave-Particle Interaction Analyzer: WPIA) と呼ばれる新しいタイプの観測装置が提案された。WPIA の解析手法の一つとして波動・粒子間のエネルギー交換量を計測する手法が提案されており、この解析手法によって波動粒子相互作用を直接的・定量的に評価することができる (Katoh et al., 2013)。またこの手法は THEMIS 衛星で観測された EMIC ライジングトーンに対しても適用され、解析手法の実現性と非線形理論の重要性 (Omura et al., 2010) の双方が示された (Shoji et al., SGEPS meeting 2014)。またエネルギー交換量を計測する手法に加えて、物理量 G を測定することによりピッチ角散乱を直接検知する解析手法も提案されている (Kitahara et al., SGEPS meeting 2014)。ここで物理量 G は、個々の粒子に働く波動電磁場起因のローレンツ力のピッチ角方向成分の積算値として定義される。

本研究の目的はこの提案されているピッチ角散乱を直接観測する手法を THEMIS 衛星で観測された EMIC ライジングトーンに対して適用し、実証することである。THEMIS 衛星に搭載された静電分析器 (ESA) は 5eV から 25keV までのエネルギー範囲を 32 チャンネルに分割しイオンを検知する。この ESA の視野は 180 度 x 6 度であるが、衛星のスピン (3 秒周期) によって全立体角から入射するイオンを検知できる。スピン方位角方向の最大角度分解能は 22.5 度であり、各方位角方向に対し 32 チャンネルのエネルギー掃引をおこなうため実質 6 ミリ秒毎に粒子のカウントを検知している。

バーストモードにおける電磁場計測器のサンプリング周波数はともに 128Hz であるから、1Hz 程度の EMIC ライジングトーンのイベントを解析するには充分の時間分解能を有するといえる。本発表ではこれらのデータを用いて物理量 G を計測するにあたっての詳細な手法・手順を議論する。