

MMS 衛星を用いた地球 Bow shock におけるホイッスラー波の微細構造の解析

梅垣 千賀 [1]; 天野 孝伸 [2]; 北村 成寿 [3]
[1] 東大・理・地惑; [2] 東大・理; [3] 東大・理・地惑

Microscopic structure of whistler wave packets within Earth's bow shock observed by MMS spacecraft

Chika Umegaki[1]; Takanobu Amano[2]; Naritoshi Kitamura[3]
[1] Earth Planetary Science, Tokyo Univ.; [2] University of Tokyo; [3] University of Tokyo

Nonthermal charged particles are ubiquitously observed in space plasmas. The Fermi acceleration at a shock wave is one of the most important mechanisms for the generation of high-energy particles. In this mechanism, the pitch-angle scattering is essential for the confinement of the particles in the close vicinity of the shock. Charged particles may be scattered by electromagnetic fluctuations via the cyclotron resonance. Ions easily satisfy the resonance condition with low frequency Alfvén waves, whereas the scattering of electrons requires higher frequency whistler waves. Since, in general, the power at lower frequencies is much larger than higher frequencies, the acceleration of electrons is much more difficult compared to ions. In fact, electron acceleration events associated with interplanetary shock crossings are very rare (Lario et al.2003, Dresing et al.2016). The condition that regulates the efficiency of electron acceleration at a shock is poorly understood at present. In particular, we do not know how and when the whistler waves are generated to scatter the accelerated electrons.

In this study, we performed an analysis for high-frequency (~100 Hz) electromagnetic waves observed during shock crossings with enhanced energetic electron flux observed by NASA's MMS (Magnetospheric MultiScale) satellites.

The purpose of this research is to estimate propagation characteristics and spatio-temporal scales of whistler wave packets that appear sporadically in the shock transition layer. First, by applying a bandpass filter to the magnetic field measured by the SCM (Search Coil Magnetometer), we confirmed that high-frequency electromagnetic waves appear as wave packets of very short lifetime. We found that most of the wave packets do not show clear correlations between different spacecraft with a separation distance of ~20 km. This strongly suggests that the wave packets have very small spatial scales. By using MVA (Minimum Variance Analysis) and calculating Poynting vector, we determined propagation directions of individual wave packets. In addition, the wavenumber is obtained from the electric-to-magnetic field ratio using Faraday's law. We will compare the result of the analysis applied for a large number of wave packets observed in a shock with the cyclotron resonance condition of electrons.

We will also estimate the spatial scale sizes of whistler wave packets by comparing events with different spacecraft separations. In particular, we discuss the difference of the scale size in parallel and perpendicular to the local magnetic field. For events with clear correlations between multiple spacecraft, we may also check the consistency between the single spacecraft analysis (MVA and Faraday's law) and the actual multi-spacecraft observations.

宇宙空間には、地球磁気圏内における放射線帯のように非熱的な荷電粒子が普遍的に存在している。高エネルギーの荷電粒子が生成される要因の一つとして衝撃波におけるフェルミ加速が挙げられるが、フェルミ加速では粒子のピッチ角散乱が重要なプロセスとなる。衝撃波近傍で荷電粒子が電磁波とサイクロトロン共鳴することによって散乱され、衝撃波近傍に閉じ込められることによってフェルミ加速が起こる。イオンは低周波のアルフベン波と容易に共鳴条件を満たすのに対し、電子がピッチ角散乱を起こすにはより高周波のホイッスラー波との共鳴が必要となる。一般的に、高周波の方が強度は弱いため、イオンより電子の方が加速はされにくいと考えられている。実際に、衝撃波における電子加速の観測例はイオンに比べて少ないことが知られている (Lario et al.2003, Dresing et al.2016)。また電子加速の効率が良いイベントとそれ以外のイベントの違いも明らかになっていない。特に、電子加速に必要なホイッスラー波の生成メカニズムや、生成のために必要な条件など、未解明の点が数多く残されている。

本研究では NASA の MMS (Magnetospheric MultiScale) 衛星によって観測された衝撃波のうち、電子加速が見られたイベントについて、高周波 (~100 Hz) の電磁的波動について解析した結果を報告する。

本研究は、衝撃波遷移層で散発的に観測されるホイッスラー波の伝播特性および波束の時空間スケールの推定を目的とする。最初に、バンドパスフィルタをかけることによって、短い時間スケールで散発的に現れるホイッスラー波と思われる波束の存在を確認した。また衛星間距離が 20 km 程度の時に複数衛星で観測される波に対応が得られないイベントが多いことから、波束の空間構造が小さいことが示唆される。各波束について MVA (Minimum Variance Analysis) によって波の伝播方向を決定した。しかしこの伝播方向には 180 度の不定性があるため、電場と磁場を用いたポインティングベクトルを求めることにより伝播方向を一意に決定した。また、ファラデーの法則を用いて電場と磁場の比から位相速度を求め、これより波数の絶対値を求めた。これらの解析を各波束について独立に行うことによって、統計的にホイッスラー波と電子のサイクロトロン共鳴条件の関係を議論する。

さらに、MMS 衛星が 4 機からなる編隊衛星であることを用い、衛星間距離の異なる期間のイベントの比較から、ホイッスラー波の波束の空間スケールについてより詳細な推定を試みる。特に磁場に対して平行および垂直成分の波束の空間スケールの違いや、複数衛星で同一の波束が観測された例について MVA およびファラデーの法則から決定した伝播特性との整合性を議論する。