

## 地球バウショックにおけるコヒーレントなホイッスラーモード波動の解析: MMS 衛星による複数衛星観測

# 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

### Analysis of coherent whistler mode waves at Earth's bow shock: MMS spacecraft observation

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

The generation mechanism of nonthermal particles is one of the most important unresolved problems in space physics. The Fermi acceleration at a shock wave is one of the leading mechanisms for the nonthermal particle acceleration. In this mechanism, pitch angle scattering due to wave-particle interaction is important to confine charged particles in the vicinity of the shock wave while charged particles are being accelerated. In particular, whistler mode waves are considered as the scattering agent for electrons. The whistler mode waves are high frequency electromagnetic waves which propagate parallel to the background magnetic field with right-hand circular polarization. Whistler mode waves are observed in the shock transition layer [Hull et al., 2012], and are thought to scatter electrons efficiently by cyclotron resonance. In fact, observation of wave-particle interaction between electrons and whistler mode waves in the shock wave transition layer has been reported [Oka et al., 2017]. However, it has been known that the acceleration of electrons at the shock is rare, and the relation between whistler mode waves and electron scattering efficiency has not yet been clarified.

In this study, we investigate the propagation characteristics of whistler mode waves statistically for clarifying the electron scattering efficiency in the shock transition layer using data from the Magnetospheric Multiscale (MMS) spacecraft.

We focused on 25 seconds of 10:29:50-10:30:15 UT on Dec. 6, 2016, as a period during which the energetic electron flux was enhanced in the Earth's bow shock. At first, as a single spacecraft analysis, we applied band pass filters with a bandwidth of 20 Hz for the typical frequency band of whistler mode waves, 0.1 to 0.5 fce (30 - 150 Hz; fce ~300 Hz). We performed Minimum Variance Analysis (MVA) with a time window of 50 ms for each of the filtered frequency bands. At this time, the propagation direction was uniquely determined by considering the direction of the Poynting flux. Also, we determined the phase velocity from the electric-to-magnetic field ratio using Faraday's law for each time window. We conducted this analysis for the above period during which the MMS spacecraft passed through the shock transition layer. We investigated the time variation of wave propagation directions, wave amplitude, and dispersion relation. We analyze each spacecraft independently and report the result of statistical analysis of the propagation direction and wave amplitude of the whistler mode wave in the shock transition layer.

In the previous analysis, we found that different spacecraft observed completely different waveforms when the spacecraft separation was as large as 20 km which is smaller than the typical ion inertial length. This indicates that the coherent scale length of whistler mode wave packets are on the electron scale. By taking the advantage of an even smaller spacecraft separation distance of 7 km for the analyzed event, we will discuss the spatial scale of the wave packet of the whistler mode wave and the propagation characteristics parallel and perpendicular to the magnetic field by comparing the analysis results independently performed by each spacecraft.

非熱的な荷電粒子の生成機構の問題は宇宙物理における大きな未解決課題の1つである。その有力な候補の1つとして衝撃波近傍におけるフェルミ加速が考えられている。フェルミ加速では、衝撃波近傍に粒子を閉じ込めるために波動粒子相互作用によるピッチ角散乱が重要となる。特に衝撃波近傍で電子を散乱させる波動としてホイッスラーモード波動が示唆されている。ホイッスラーモード波動は背景磁場に対し右円偏波しながら平行伝播する高周波の電磁波である。ホイッスラーモード波動は衝撃波遷移層で観測されており [Hull et al., 2012]、電子とサイクロトロン共鳴することで散乱効率を高めていると考えられている。実際に衝撃波遷移層で波動粒子相互作用する電子とホイッスラーモード波動の観測例が存在する [Oka et al., 2017]。しかし、衝撃波における電子加速の例が少なく、実際に加速を引き起こすためのホイッスラーモード波動による電子散乱効率は未だ明らかになっていない。

本研究では、ホイッスラーモード波動の伝播特性を統計的に調べ、衝撃波遷移層における電子散乱効率を明らかにすることを目的とする。今回の解析を行うにあたり、我々はNASAのMMS (Magnetospheric Multiscale) 衛星を用いた。

本研究では、地球バウショックにおいて電子のエネルギーが増大している期間として2016年12月6日10時29分50秒 - 30分15秒の25秒間に着目した。まず単一衛星解析として、ホイッスラーモード波動の主な周波数帯である0.1-0.5 fce(30-150 Hz ; fce~300 Hz)について20 Hz毎に区切ってバンドパスフィルタをかけた。フィルタをかけた各周波数帯において50 msの時間幅でMinimum Variance Analysis(MVA)を行った。この時ポインティングフラックスの向きを考慮することにより、伝播方向を一意に決定した。また、各時間帯での電場と磁場の強度比からファラデーの法則を用いて位相速度を求めた。この解析を、MMS衛星が衝撃波遷移層を通過する上記期間について行い、各周波数帯における波動の伝播方向や磁場強度の時間変動、および磁場に対して平行方向の伝播速度と周波数の関係を調べた。発表では、各衛星について独立にこれらの解析を行い、衝撃波遷移層内でのホイッスラーモード波動の伝播方向や磁場強度の特性を統

計的に解析した結果を報告する。

また、過去に我々が行った複数衛星解析の結果より、MMS 衛星の衛星間距離が 20 km 程度の期間では、各衛星におけるホイッスラーモード波動の波形に対応が見られないことが分かっている。この衛星間距離がイオン慣性長程度であることから、ホイッスラーモード波動の空間スケールはイオンスケールよりも小さい電子スケールであることが示唆されている。これを踏まえ、今回の発表では各衛星で独立に行った解析結果を比較することにより、ホイッスラーモード波動の波束の空間スケールや、磁場に対し平行および垂直方向の伝播特性についても議論する。