

MMS 衛星を用いた Pc5 波動の特性解析

鈴木 眞 [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 Pc5 Wave Characteristics observed by MMS spacecraft

Makoto Suzuki[1]; Takanobu Amano[2]; Naritoshi Kitamura[3]
[1] Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo; [2] University of Tokyo; [3] University of Tokyo

The presence of high-energy charged particles is common in the geospace environment. In particular, the radiation belt is filled with the highest energy (several hundreds of keV to several tens of MeV) particles. The acceleration of radiation belt electrons is a topic of great interest in space physics (Millan and Thorne, 2007).

Ultra-Low-Frequency (ULF) waves having periods between 2 to 10 min called Pc5 waves are believed to play a role for the acceleration of radiation belt electrons. In particular, the waves which have low azimuthal wavenumber (m-number <10) are capable of accelerating particles via the drift resonance (Schulz and Lanzerotti, 1974). On the other hand, high m-number (>10) Pc5 waves (Storm-time Pc5s) that appear during geomagnetic storms may also be important (Ukhorskiy et al., 2009). Such storm-time Pc5s may be excited by plasma instabilities caused by an enhanced particle transport from the plasma sheet to the inner magnetosphere during a geomagnetic storm. The drift-mirror instability caused by pressure anisotropy is one of the most plausible candidates.

Such ULF waves likely to be generated by the drift-mirror instability are more frequently observed at $L > 8$ where the MMS (Magnetospheric Multiscale) spacecraft observations are available (Takahashi et al., 1990). With the MMS observations, we can perform both single-spacecraft and multi-spacecraft analysis methods independently. Comparisons between these methods enable us to verify the accuracy of the method based only on single-spacecraft measurement. In particular, the estimation of m-number is important in considering the resonance condition between Pc5 waves and particle. However, since observations in the inner magnetosphere are usually made with a single satellite, it is difficult to obtain reliable estimates for the m-numbers. The MMS observations are thus useful to test the applicability of single-spacecraft analysis methods in the inner magnetosphere.

In this study, we present results of such analysis for Pc5 waves observed by the MMS satellite on the dusk side in the magnetosphere on September 1, 2015. We applied the multi-spacecraft timing method for selected time intervals and obtained a wavelength of several thousands of km, westward propagation with a propagation speed of 30-40 km/s in the spacecraft frame. We also performed Minimum Variance Analysis to estimate the wave propagation directions and obtained consistent results. We will also apply other single-spacecraft methods and discuss the accuracy by comparing results obtained with different methods.

地球周辺の宇宙空間には、エネルギーの高いプラズマ粒子が飛び交う領域が存在する。特に数百 keV から数十 MeV の、最も高いエネルギー帯のプラズマ粒子で満たされている領域は放射線帯と呼ばれ、放射線帯の電子の加速現象は宇宙空間物理学の重要な研究課題である (Millan and Thorne, 2007)。

この電子の加速機構の候補として注目されているのが、Pc5 波動と呼ばれる、2~10 分の周期を持つ ULF 波動である。特に経度方向の波数 (m-number) が低い波動 ($m < 10$) は、ドリフト共鳴によって相対論的電子加速に重要な役割を果たすと議論されてきた (Schulz and Lanzerotti, 1974)。その一方で、磁気嵐時に発生するような高い m-number (> 10) の Pc5 波動 (storm-time Pc5) も、放射線帯の粒子加速に寄与する可能性が指摘されている (Ukhorskiy et al., 2009)。このような storm-time Pc5 は、磁気嵐時にプラズマシートから内部磁気圏に輸送されるプラズマ粒子が引き起こすプラズマ不安定によって励起されると考えられており、温度異方性によって起こるドリフトミラー不安定はその有力な候補である。

ドリフトミラー不安定で励起されたと考えられる ULF 波動は、MMS (Magnetospheric Multiscale) 衛星の周回軌道 ($L > 8$) においてより頻繁に観測されている (Takahashi et al., 1990)。MMS 衛星を用いることで、複数衛星を用いた解析手法 (Timing Method など) と、単一衛星のデータのみを用いた解析手法の両者を用い、単一衛星のみを用いた解析手法の精度の検証が可能である。特に Pc5 波動と粒子の共鳴条件を考えるにあたっては m-number の推定が重要であるが、内部磁気圏の観測では通常は単一衛星しか用いることができないため、その精度検証が困難である。そのため、単一衛星を用いた m-number の推定手法の精度を、独立な手法によって検証することは内部磁気圏への応用においても重要である。

本研究では、2015 年 9 月 1 日に磁気圏の夕方側で MMS 衛星によって観測された Pc5 波動について解析を行った。Timing Method による解析を用いていくつかの時間帯において波長と伝播方向、伝播速度を求めた。その結果、波長は数千 km、伝播方向は西向きで、衛星静止系での伝播速度は 30-40km/s 程度であった。これは過去の研究と一致する。さらに、4 衛星それぞれのデータを用いて Minimum Variance Analysis を用いて伝播方向の推定を行った。その結果、Timing Method から得られた伝播方向と一致することを確認した。発表では上記の結果に加えて、その他の解析手法の適用結果を示し、各手法の精度を検討する。