

電離圏観測ロケットウェイク近傍のプラズマ波動擾乱に関する比較研究

遠藤 研 [1]; 熊本 篤志 [2]; 加藤 雄人 [1]
 [1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理

Comparison study of plasma wave disturbances around wakes of ionospheric sounding rockets

Ken Endo[1]; Atsushi Kumamoto[2]; Yuto Katoh[1]
 [1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] Dept. Geophys, Tohoku Univ.

When a body moves in plasma at supersonic velocity, a rarefied plasma region called 'plasma wake' is formed behind the body. Wakes can develop behind a solar system body immersed in solar-wind plasma as well as behind spacecraft such as satellites and ionospheric sounding rockets.

Plasma waves around the rocket wake have been suggested by the observational results from previous rocket experiments, while there are also several studies which reported plasma waves around the wakes of a satellite and of the moon. In the S-520-26 rocket experiments, carried out in Japan at dawn of January 12, 2012, three kinds of plasma waves, which show different spin-phase dependence, were identified (hereafter denoted Group-A, B, and C). We concluded that they are electrostatic electron cyclotron harmonic (ESCH) waves or upper hybrid resonance (UHR) mode waves (Group-A waves), and whistler mode waves (Group-B and Group-C waves). The Group-A and Group-B waves were observed intensively when the dipole antenna pointed in the parallel and vertical direction, respectively, relative to the motion vector of the rocket. Meanwhile, the Group-C waves were found at spin-phase angles different from them. The difference of spin-phase dependence among the three kinds of plasma waves suggests that the plasma waves are generated inhomogeneously around the wake of the rocket.

In order to clarify if the above characteristics obtained in the S-520-26 rocket experiment are universal or specific, we now analyze wave data from the S-520-23 rocket experiment, which was performed in Japan at dusk of September 2, 2007. The apexes of the two rocket trajectories are nearly the same; they are 298 km and 279 km in the S-520-26 and S-520-23 rocket experiments, respectively. The f_p/f_{ce} ratios of the ambient plasma, however, are different; they are 2.2 and 4.7 at the apexes in the former and latter case, respectively. Here, f_p is the plasma frequency and f_{ce} is the electron cyclotron frequency.

As a result, it is found that Group-A waves were also observed in the S-520-23 rocket experiment and that the frequency range is 3.4-4.5 MHz ($3.1f_{ce}$ - $4.1f_{ce}$) at around the apex. The wave frequencies are higher than those obtained at the apex of the S-520-26 rocket trajectory, which are from 1.6 MHz ($1.4f_{ce}$) to 2.4 MHz ($2.2f_{ce}$). This result suggests that there is a good correlation between the frequency range of Group-A waves and the plasma frequency. In addition, the intensity of the Group-A waves varies with rocket spin also in the S-520-23 rocket experiment. Waves changing their intensity periodically can be found in a frequency range below the electron cyclotron frequency. However, their structures in the spectrogram are different from those of the Group-B and Group-C waves observed in the S-520-26 rocket experiment; the waves obtained in the S-520-23 rocket experiment consist of several narrow-band emissions, while those measured in the S-520-26 rocket are broad-band emissions.

In this presentation, we show the observational results of plasma waves from the S-520-26 and S-520-23 rocket experiments, comparing their characteristics with each other. In addition, we clarify the similarities and differences in their wave modes and in their spin-phase dependence, and discuss the generation mechanisms of the observed plasma waves.

プラズマ中を超音速で運動する物体の後方にはウェイクと呼ばれるプラズマの希薄な領域が形成される。ウェイクは観測ロケットや人工衛星など飛翔体の後方に生じる他、太陽風プラズマと天体の相互作用によっても作られることが知られている。

人工衛星や月のウェイク近傍ではプラズマ波動の観測例があるが、ロケットのウェイク近傍でもプラズマ波動の励起を示唆する結果が近年のロケット観測により得られている。2012年1月12日の明け方に鹿児島で行われたS-520-26ロケット実験では、スピン位相角依存性の相違から3種類のプラズマ波動が確認されている(それぞれGroup A, B, Cと呼ぶ)。観測された波動は、その周波数から、静電的電子サイクロトロン高調波(ESCH)及びUHRモード波動(Group-A)、ホイッスラーモード波動(Group-B, C)であると結論された。Group-A, Bの波動は、ダイポールアンテナがロケットの進行方向に対しそれぞれおよそ平行、垂直な向きに向いた時に強く観測されていたのに対し、Group-Cの波動はそれらとは別の限られたスピン位相角で観測されていた。これらの波動がそれぞれ異なるスピン位相角依存性をもつことは、プラズマ波動がロケット周囲に空間非一様に励起・成長していたことを示唆している。

我々は、これらのS-520-26ロケット実験の結果の普遍性・特異性を明らかにするため、2007年9月2日の夕刻に鹿児島で行われたS-520-23ロケット実験の波動観測結果に対してもS-520-26と同様の解析を行い、その結果の対比を行った。S-520-26、S-520-23ロケットの到達高度はそれぞれ298 km、279 kmと類似しているが、最高点付近における背景プラズマの f_p/f_{ce} はそれぞれ $f_p/f_{ce}=2.2$ 、 $f_p/f_{ce}=4.7$ と大きく異なっている。ここで、 f_p はプラズマ周波数、 f_{ce} は電子サイクロトロン周波数である。

解析の結果、S-520-23ロケット実験でもGroup-Aの波動が観測されており、その周波数帯は最高点付近で3.4-4.5 MHz ($3.1f_{ce}$ - $4.1f_{ce}$)であることが分かった。これはS-520-26ロケット実験において最高点付近で観測されたGroup-Aの波動の周波数帯1.6-2.4 MHz ($1.4f_{ce}$ - $2.2f_{ce}$)を上回っている。このことは、Group-Aの波動の周波数が、その場のプラズマ周波

数に相関して変化することを示唆している。また、S-520-23 ロケット実験でも、この波動の強度はスピンの依存すると考えられる周期的変動を示している。同様に強度変動を示す波動は、電子サイクロトロン周波数以下でも観測されている。しかし、それらはS-520-26 ロケット実験で観測された Group-B、C の波動とはスペクトル構造が異なり、より狭帯域かつ複数の周波数からなる波動である。

本発表では、S-520-26 及び S-520-23 ロケット実験で観測されたプラズマ波動の特徴を比較しながら示し、波動のモードやスピン位相角依存性について共通点ならびに相違点を明らかにするとともに、それらの波動励起過程について議論する。