

S-520-26号機ロケット実験で得られた電離圏電子密度及びプラズマ波動のspin位相角依存性

遠藤 研 [1]; 熊本 篤志 [2]; 大家 寛 [3]; 小野 高幸 [1]; 加藤 雄人 [1]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理・地物

Study of the spin modulations of the electron density and plasma wave measurements in the sounding rocket S-520-26 experiment

Ken Endo[1]; Atsushi Kumamoto[2]; Hiroshi Oya[3]; Takayuki Ono[1]; Yuto Katoh[1]
[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [3] Geophysics, Tohoku Univ.

In the ionosphere, since the flying speed of a sounding rocket is usually larger than the thermal velocity of ions, a rarefied plasma region called 'plasma wake' is formed behind a rocket in association with the plasma turbulence. These wake phenomena should be considered accurately when we deal with data obtained in a direct ionospheric measurement. The physical processes related to the plasma waves are also important in understanding the interactions between plasma and non-magnetized objects.

The plasma waves associated with a rocket wake were observed in the sounding rocket S-520-21 experiment and the SS-520-1 experiment, which were carried out at Andøya, Norway in 1994 and at Uchinoura in Kagoshima Prefecture, Japan in 1998, respectively [Yamamoto, 2000]. Since the frequency range of the emissions was related to the characteristic frequencies of ionospheric plasma in the wake, Yamamoto(2000) suggested that the waves are Upper-hybrid mode ones excited in the wake. They also proposed a wake turbulence model in which two stream instability occurs in the wake center due to the incident plasma flow from the both sides of the wake edges. However, the region where the plasma waves excite and the relevance between the propagation process and the wake structure have not been clarified because of the limitation of the time resolution of the instruments used in the previous experiments.

In the present study, we discuss the properties of the plasma waves observed in the S-520-26 sounding rocket experiment. In the S-520-26 experiment performed at Uchinoura on January 12, 2012, we measured the electric fields of plasma wave in mid-latitude ionosphere during a geomagnetically quiet period by using a plasma wave monitor. The time resolution is about 260 msec, which corresponds to one fourth or one fifth of a spin period. In the experiment, we observed plasma waves in the frequency range from 0.02 MHz to 0.6 MHz and from 1.2 MHz to 2.2 MHz. We identified the waves observed in the lower frequency range, where whistler mode waves can exist, by referring the characteristic frequencies of the ambient plasma calculated from the data of the impedance probe installed on the vehicle. Meanwhile, the higher frequency range often overlapped with the frequency range of Upper-hybrid mode waves. However, they did not always coincide with each other.

In addition, we analyzed the data of the rocket attitude during the experiment and obtained the spin-phase angle dependencies of the measured electron density and the plasma waves. We define 0 degrees in spin-phase angle as the direction of the rocket velocity vector. The spin-phase angle increases in a counterclockwise direction when we see the rocket from the top to the bottom. The results of the analysis suggest that the emissions in the lower frequency range were enhanced when the dipole antenna measuring the electric field pointed in the directions of about 90 and 270 degrees in spin-phase angle, while the waves in the higher frequency range were observed clearly when the antenna pointed nearly 0 and 210 degrees. Generally, the electric fields of the electromagnetic waves are perpendicular to the wave normal, and the electric fields of the electrostatic waves are parallel to it. Besides, if a plasma wave generates around the rocket, the wave is possibly the electrostatic one, because the wave length should be limited to the scale size of the wake, which is less than about ten meters or so. Based on the results of the analysis, we can discuss the propagation modes and the generation regions of the plasma waves.

通常、観測ロケットはイオンの熱速度を上回る速さで飛翔するため、ロケット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、様々なプラズマ擾乱を引き起こす。これらの航跡効果は、その影響が大きく現れる電離圏直接観測において正確に考慮されるべき問題であるとともに、非磁化物体 - プラズマ間相互作用の物理としても非常に重要な課題である。

航跡効果に伴うプラズマ波動については、1994年にノルウェー・アンドーヤで行われた S-520-21 号機ロケット実験、及び 1998 年に鹿児島県・内之浦で行われた SS-520-1 号機ロケット実験の報告例がある [Yamamoto, 2000]。これらの実験では、ウェイク中のプラズマ特性周波数に関する周波数領域に波動が観測されており、この観測事実に基づいてウェイク中で Upper-hybrid モードの波動が励起するというモデルが提案されている。現在考えられている波動励起メカニズムは、ウェイクの端から流入するプラズマがウェイク中心で 2 流体不安定を引き起こし、プラズマ波動を励起するというものである。しかし、これまでのロケット実験では観測機器の時間分解能の制約から、プラズマ波動の発生領域やその伝播過程とウェイクの構造の関連性について、観測結果をもとにした十分な議論はなされていない。

我々は、2012年1月12日に内之浦から打ち上げられた S-520-26 号機に搭載したプラズマ波動受信機を用いて、地磁気静穏時における中緯度電離圏で波動の電場成分の観測を行なった。本受信機の時間分解能は約 260 msec であり、これはロケット 1 スピンの周期を 4.5 分割して測定したことに相当する。実験の結果、0.02 ~ 0.6 MHz 及び 1.2 ~ 2.2 MHz の周波数帯域にプラズマ波動が観測された。前者の低周波波動については、同時搭載したインピーダンスプローブから求めたプラズマ特性周波数からホイッスラーモードと同定された。また、後者の高周波波動については、観測高度によって

は Upper-hybrid モードと周波数帯が重なっている場合があるものの、必ずしも一致していないことが明らかとなった。

次に、ロケットの姿勢解析をもとに、電子密度と波動強度のスピンの位相角依存性を求めた。ここで、ロケットの飛翔方向をスピンの位相角 0 度とし、ロケット先端からロケット本体を見たときに左回りを正としてスピンの位相角を定義する。その結果、電子密度は、プローブがスピンの位相角 180~240 度の方向を向くときに最も低かった。低周波波動は、電場計測用のダイポールアンテナがスピンの位相角およそ 90 度ならびに 270 度の方向を向くときに強く受信されていたのに対し、高周波波動はアンテナがスピンの位相角 0 度ならびに 210 度の方向を向くときに強く観測されていたことが示された。

一般に、波動が電磁波であれば電場成分は伝搬方向に垂直、静電波であれば電場成分は伝搬方向に平行となる。また、ウェイクの大きさはおよそ 10m 以下程度と考えられることから、ロケット周囲で励起するプラズマ波動は、その波数の制約から静電的である可能性が高い。本発表では、以上の解析データ及び考察に基づき、S-520-26 号機実験で観測されたプラズマ波動のモード、励起領域について、電子密度の観測データと対比しながら議論する。