

## 電離圏観測ロケット近傍のウェイクに起因するプラズマ波動の特徴

# 遠藤 研 [1]; 熊本 篤志 [2]; 小野 高幸 [3]; 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

### Plasma wave characteristics due to the wake of an ionospheric sounding rocket

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

In the ionosphere, a rarefied plasma region called ‘plasma wake’ is formed behind a sounding rocket. Electron distribution functions in the spacecraft wake have ever been studied by a numerical simulation and it suggests they should be different from the Maxwell-Boltzmann distribution function in the near wake. Thus, plasma waves are expected to generate in the wake of a sounding rocket. In fact, in the region close to an artificial satellite and solar system bodies such as Moon, plasma waves around the wake have been already reported.

There are, however, few studies which point out that plasma waves observed in rocket experiments are associated with the rocket wake. For this reason, we are now analyzing the data of the electron number density and electric fields of plasma waves in mid-latitude ionosphere by an impedance probe and a plasma wave receiver, which were installed on the sounding rocket S-520-26. In the analysis, we have found plasma waves in a frequency range of 1.3-2.4 MHz (hereinafter called Group-A) as well as those in a frequency range between 0.02 MHz to about  $0.6 f_{ce}$  (Group-B), and those between from about  $0.5 f_{ce}$  to  $0.9 f_{ce}$  (Group-C), where  $f_{ce}$  is electron cyclotron frequency. The Group-A emissions are similar to the waves observed in previous studies. Although the frequency range of the Group-A waves is around the UHR frequency, we have revealed that there are some emissions which are not explained by the dispersion relation of the UHR mode waves in the wake region, where the magnetic field and electron number density are deduced from the IGRF model and the impedance probe data. Based on the results, it can be suggested that the Group-A waves are short-wavelength electrostatic waves including the UHR mode waves and also the electrostatic electron cyclotron harmonic (ESCH) waves. On the other hand, the Group-B and Group-C waves are the whistler mode waves.

Besides, the analysis with the rocket attitude data has revealed that the Group-A emissions are enhanced when the dipole antenna measuring the electric field pointed in the directions of  $320^{\circ}$ - $20^{\circ}$  and  $150^{\circ}$ - $250^{\circ}$  in spin-phase angle while that the Group-B waves have been observed clearly when the antenna pointed to  $50^{\circ}$ - $110^{\circ}$  and  $200^{\circ}$ - $300^{\circ}$ , and that the Group-C waves are found in  $90^{\circ}$ - $160^{\circ}$ . Here, we define  $0^{\circ}$  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 spin-phase dependences suggest the inhomogeneous distribution of the occurrence regions of the plasma instabilities with respect to the wake structure, or the anisotropy of the wave propagation in plasma.

In order to discuss the generation mechanism of the observed plasma waves, we have performed calculations of plasma dispersion relations numerically by assuming anisotropic velocity distribution functions including an electron beam or temperature anisotropy. As a result, positive linear growth rates have been obtained in the wave number and frequency ranges of the UHR mode waves and ESCH waves in addition to the electrostatic whistler mode waves. Real distribution functions around the rocket wake, however, might not be our simple ones as we assumed. Therefore, further studies with using Vlasov-Maxwell simulation will be needed.

In this presentation, we summarize the characteristics of the plasma waves measured in the S-520-26 rocket experiment and discuss plasma instabilities caused by the interaction between a rocket and ionospheric plasma, using calculation results of the linear growth rate of the plasma wave instability.

観測ロケットの後方にはプラズマ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。過去の数値シミュレーション研究により、ウェイク中における電子について、飛翔体の極めて近傍ではマクスウェル-ボルツマン分布とは異なる速度分布関数をもつ可能性が指摘されている。そのため、観測ロケットのウェイク中でプラズマ波動が励起することが予想される。実際、ウェイク近傍でのプラズマ波動については、人工衛星や月のウェイクなどで観測の報告例がある。

しかしながら、ロケット観測で得られたプラズマ波動をウェイクに関連する波動として報告した研究は多くない。そこで、ロケットのウェイクが引き起こすと考えられるプラズマ波動現象をより詳しく議論するため、観測ロケット S-520-26 号機に搭載されたインピーダンスプローブ及びプラズマ波動受信機のデータ解析を進めている。S-520-26 号機の観測では、過去の観測で指摘された波動と同様の約 1.3-2.4MHz のプラズマ波動（以下、Group A と呼ぶ）の他、 $0.02\text{MHz}$ - $0.6f_{ce}$  ( $f_{ce}$ : 電子サイクロトロン周波数) の波動 (Group B)  $0.5f_{ce}$ - $0.9f_{ce}$  の波動 (Group C) 及び放送波を起源とする波動を観測した。インピーダンスプローブの観測結果や IGRF 磁場モデルから UHR モードの分散関係を求めた結果、Group A の波動の一部の観測周波数は UHR モードの分散関係を満たすものの、分散関係に合わない成分も観測されていることが分かった。この観測結果から、Group A の波動は UHR モード波動及び静電的電子サイクロトロン高調 (ESCH) 波であると判断される。また、Group B 及び C の波動は、その周波数帯から考えて、ホイッスラーモード波動である。

また、ロケットの姿勢解析から、Group A の波動はスピン位相角  $320^{\circ}$ - $20^{\circ}$  及び  $150^{\circ}$ - $250^{\circ}$ 、Group B は  $50^{\circ}$ - $110^{\circ}$  及び  $200^{\circ}$ - $300^{\circ}$ 、Group C は  $90^{\circ}$ - $160^{\circ}$  付近で強く観測されていた。但し、ここでロケットの飛翔方向をスピン位相角  $0^{\circ}$  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位相角を定義する。このことは波動を励起するプ

ラズマ不安定領域がウェイクに対し非一様に分布していること、あるいは、波動の伝搬方向が非等方的であることを示している。

観測されたプラズマ波動の励起メカニズムについて考察するため、我々は、電離圏の電子の速度分布にビーム成分や温度異方性を与えた分布を仮定し波動の分散関係を数値的に求めている。その結果、UHRモード波動、ESCH波動の他、静電的ホイッスラーモード波動の波数、周波数領域で波が成長する解が得られている。実際にロケットのウェイク近傍で実現される速度分布は、ビーム成分または温度異方性のみをもつ単純な分布ではないと考えられるが、その点は今後ブラソフ-マクスウェルシミュレーション等を行い検討すべき課題である。

本発表では、観測ロケット S-520-26 による波動観測から得られたプラズマ波動の特徴を提示し、波動の線形成長率計算の結果と比較しながら、ロケットと電離圏プラズマの相互作用が引き起こしうるプラズマ不安定について議論する。