

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 Plasma wave turbulence induced by the wake of an ionospheric sounding rocket

遠藤 研^{1*}, 熊本 篤志¹, 大家 寛¹, 小野 高幸¹, 加藤 雄人¹
Ken Endo^{1*}, Atsushi Kumamoto¹, Hiroshi Oya¹, Takayuki Ono¹, Yuto Katoh¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

¹ Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

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。これまでの理論的研究や、ロケット観測、数値シミュレーションによって、ウェイク中では電子密度が低くなることや電子温度が高くなることなどが広く知られている。

近年の観測により、ロケットのウェイクに伴ってプラズマ波動が励起する可能性が指摘されるようになってきている。過去の研究では、コールドプラズマ理論に基づいて MHz 帯の波動データを解析することにより、励起する波のモードが Upper-hybrid resonance (UHR) に関連するモード (以後 UHR モードと表す) であること、及びウェイクの両端から流入する電子が二流体不安定を引き起こしてプラズマ波動を発生させるというモデルが提案されている。しかし、観測された一部のプラズマ波動の周波数帯は、電子密度の観測値から予想される UHR モードの分散関係に合わず、この点は未解決の問題として残されている。また、これまでの研究で使用されているデータは、時間分解能が 500 msec 以上の波動受信機によって得られたものであり、プラズマ波動の励起メカニズムや励起領域、伝播過程を詳細に議論する上で充分ではなかった。

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も観測の報告例がある。このことから、ロケットのウェイクに伴ってプラズマ波動が励起する過程は、プラズマ流と非磁化物体の相互作用に起因する普遍的な物理メカニズムを内包していると考えられる。

そこで、東北大グループは、ロケットのウェイクが引き起こすプラズマ波動現象をより詳しく議論するため、2012年1月12日に鹿児島県内之浦で打ち上げられた観測ロケット S-520-26 号機にインピーダンスプローブ及びプラズマ波動受信機を搭載し、電離圏プラズマ密度及び波動の電場成分の観測を行った。どちらも時間分解能は約 260 msec で、これはロケット1スピンに4-5回の測定を行うことを可能にしている。ロケットは高度約298 kmまで到達し、観測の結果、過去の観測で指摘された波動と同様の約1.3-2.4 MHzのプラズマ波動(MF帯の波)の他、0.9 MHz以下にも波動(LF帯の波)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、MF帯のプラズマ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。

以上の観測結果を受け、我々はホットプラズマ中でのプラズマ波動の分散関係を用いて、改めて波動のモードに関し考察を行った。その結果、プラズマ波動がロケット近傍のウェイクで励起したものと仮定することにより、波長の制約から、MF帯の波動はUHRモード波動及び静電的電子サイクロトロン高調(ESCH)波であること、LF帯の波動は静電的なホイッスラーモード波動である可能性を指摘した。また、ロケットの姿勢を解析することにより、これらの波動が、それぞれアンテナがある特定の方向に向いているときに強く観測されていることを明らかにした。さらに、電離圏の電子の速度分布に電子ビーム成分や温度異方性が生じた際の波動の分散関係を数値的に求めたところ、静電的なUHRモード波動、ESCH波動、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た。

本発表ではさらに、観測ロケットのウェイク周辺で期待されるプラズマ不安定について考察し、S-520-26号機ロケットによる電子密度・プラズマ波動の観測結果をもとに、ウェイクに起因するプラズマ波動について議論する。

キーワード: ウェイク, プラズマ波動, 観測ロケット, 電離圏

Keywords: wake, plasma wave, sounding rocket, ionosphere