観測ロケットを用いた 極域電離圏カスプの プラズマイレギュラリティ総合研究

阿部琢美、齋藤義文、横田勝一郎 (ISAS/JAXA) 入江敏弘 (東大理)、Joran Moen (オスロ大学)



- ●HFレーダ観測において予期せぬ強い後方散乱エコーが受信される事あり。
- ●散乱エコーの発生領域は波長630nmのカスプ発光領域と赤道側境界が一致。
- ●散乱エコーは磁力線に垂直方向のプラズマ密度擾乱に起因すると考えられるが観測データに乏しく現象がほとんど理解されていない。

現象の解明には観測ロケット搭載による直接観測が最も効果的。 ⇒ ICI-2キャンペーン

ICI-2キャンペーンの概要

CSAS.

ICI (Investigation of Cusp Irregularities)-2観測ロケットキャンペーンの目的はHFレーダの後方散乱エコーを作り出す約10mの空間スケールのプラズマ密度擾乱現象の発生メカニズムを解明すること。

■観測ロケット搭載機器による高時間・空間分解能測定でHF backscatter targetを探る。

研究課題

- 電子密度擾乱生成理論の観測的な検証
- 密度擾乱生成における勾配ドリフト不安定、速度シアー 不安定が果たす役割を解明
- 降下電子のプラズマ不安定に対する寄与

ICI-2ロケット搭載機器一覧

- 1. 電子密度擾乱測定器 (ISAS/JAXA)
 - 電子密度を高時間分解能(<数10cmスケール)観測
 - 測定範囲: 1×10¹⁰~1×10¹²/m³
- 2. 低エネルギー電子計測器 (ISAS/JAXA)
 - 測定範囲:10 eV~10 keVのエネルギーの電子
 - Sampling rate : 約16ミリ秒
- 3. 高エネルギー粒子計測器 (University of Bergen)
 - Solid state particle spectrometers (Energy > 20 keV)
- 4. 電場&波動計測器 (University of Oslo)
 - DC~20 kHzの電場変動の測定が可能
- 5. Multi-needle 固定バイアスプローブ (University of Oslo)
- 6. ロケット姿勢計 (University of Oslo)
 - 3軸直交ジャイロ、1軸太陽センサ、3軸磁力計から構成

地上観測設備: EISCATレーダ、HFレーダ、全天カメラ、 Meridian Scanning Photometer等



ICI-2 launch:



Launch: 10:35:10 UT 5 Dec 2008 Ny-Ålesund in Svalbard (Norway) (78.9 N, 11.9 E, geographic 76.4 N, 110.2 E CGM) Launch direction: Elevation: 81° Azimuth: 196° Flight time: 575 sec Apoapsis height: 328.8 km

Configuration: 142 kg Hotel Payload + ICI-2 Sonda VS30/Improved Orion



宇宙科学シンポジウム

Electron density & Power spectrum (Upleg)



05-Dec-2008 10:37:31



宇宙科学シンポジウム。



ICI-2 LEP-ESA

30deg. PITCH ANGLE 22msec Time Resolution

ISAS







カスププラズマイレギュラリティー予想される生成プロセスー

- 線形理論に基づく計算では予想されるプラズマ密度勾配では 勾配ドリフト不安定の成長率が遅く、観測された密度擾乱振 幅を説明出来ない(Moen et al., 2002)
- ●高緯度側方向への流れにより速度シアー(or K-H)不安定が急速に成長し大振幅の密度イレギュラリティを発達させ、その後勾配ドリフト不安定がさらにエネルギーを与えるという2ステップのプロセスが提案されている(Carlson et al., 2007)
- # Gradient Drift Instabilityの成長率を検討

 N_0 :

Gradient scale length [Tsunoda, 1988]

$$L = \left[\frac{1}{N_0} \frac{\Delta N}{\Delta x}\right]^{-1}$$

Linear growth rate

$$\gamma_0 = \frac{V_0}{L}$$

 V_0 : plasma drift relative to the neutral gas

 $\Delta N/\Delta x$: horizontal electron density gradient

background density

宇宙科学シンポジウム



不安定成長率の見積もり



ICI-2キャンペーンのまとめ

ICI-2キャンペーンにおいて観測ロケットが極域電離圏カス プ領域でプラズマイレギュラリティを直接観測。

- 1) ロケット上昇時にPMAF(極方向に移動するオーロラ)中で電 子密度擾乱域を直接観測。下降時にもオーロラ発光領域中 で密度擾乱を観測。約10mの空間スケールの擾乱を検出。
- 2)下降時に観測された密度擾乱は移動速度は小さいが、オーロラ発光強度およびInverted-V構造との対応が見られる。
 3)密度擾乱は高度方向に広く分布している。
- 4) 電子密度擾乱のスケール長(L)、移動速度(V₀)から勾配ド リフト不安定の成長率を検討。ほとんどの事例で成長率 γ₀(=V₀/L)>1であり、説明が可能。

as s

ICI-2キャンペーンの成功を受けて

- 観測ロケットを中核とするICI-2キャンペーンにより得られた結果 電子擾乱の中心は電子密度勾配最大の領域に一致せず、降下電子領域の 中心に対応。これは降下電子または沿磁力線電流がプラズマ不安定の自 由エネルギーを供給した可能性を示唆し、これらの役割を明らかにする 事が現象の本質的理解に重要。
- 新たな観測ロケットキャンペーンICI-3(2011年冬打上げ)が進行中 ICI-3ではICI-2搭載の機器に加え3次元AC電場とDC/AC磁場観測のための測定器を充実させて実験に挑む。目的は次の項目の理解にある。

1) カスプ領域の電子密度擾乱の発生メカニズム

- 2) 密度擾乱発生に対するReversed Flow Channel, Polar cap patchの役割
- 3) オーロラ活動、レーダ後方散乱現象およびGPSシンチレーションの相 互関係
- これらのキャンペーンを通して、極域電離圏カスプに固有の不思 議なプラズマ現象の発生メカニズムを解明する。