宇宙科学シンポジウム発表 at JAXA宇宙研 2014/1/10

# 観測ロケット

# S-520-27号機・S-310-42号機を 中心とする電離圏波動現象の総合観測

山本衛(京大), 阿部琢美(JAXA), 山本真行(高知工科大) 渡部重十(北大), 羽生宏人(JAXA), 石坂圭吾(富山県立大), 遠藤研(東北大)、岩上直幹(東大)、高橋隆男, 田中真(東海大), 斎藤享(電子航法研), 横山竜宏, 津川卓也(NICT), Miguel Larsen(米クレムソン大), Paul Bernhardt(米NRL)

# 報告内容

- □ 2013年7月20日に連続して打上げられた観測ロケットS-520-27 号機・S-310-42号機と地上観測を組み合わせて実施した電離 圏観測について、現在の到達点を報告する。
- □本観測計画の主目的は、中緯度・夏季・夜間の電離圏F領域に 発生する「中規模電離圏擾乱(MSTID)」の発生機構の解明で あった。
- □ そのため電離圏のプラズマ密度・電界と中性大気風速を同時・ 同領域で観測することを目指した。また電離圏プラズマ密度の 水平非一様性を地上のGPS受信機網やイオノゾンデを用いて 観測した。
- □本観測には次のような技術的な挑戦が含まれている。
  - 満月下のリチウム発光雲観測
  - リチウム放出機構の改良
  - 航空機からの撮像
  - MSTID発生のリアルタイムモニタリング

## 中緯度電離圏F領域・夏季・夜間に現れる 中規模電離圏擾乱(Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance (MSTID))



地上のGPS観測網からの 大気光(波長630nm)全天イメー 全電子数観測 ジャ観測

# 観測の概要



Ground obs. (Chemical-release imaging, GPS-TEC, ionosonde, MU radar, etc.)

観測項目

- <u>S-520-27号機</u>: NEI (電子密度)、
  FBP (密度変動)、EFD (電界)、
  DBB (ロケットビーコン)、
  LES (リチウム放出)、
  MAS (月センサ)、IAF (星センサ)、
  MGF (高感度磁力計)
- <u>S-310-42号機</u>: DBB (ロケットビーコン)
  TMA (TMA放出)(他に振動計測と
  GPS受信機を搭載)
- <u>地上・航空機観測</u>: TMA・リチウム撮像
- <u>地上観測</u>: GPS受信機網、ビーコン受 信機、イオノゾンデ他

#### 観測条件

- 満月(リチウム雲を照らす光)
- MSTID発生(GPS-TEC観測でモニタ)
- 航空機(天候条件、飛行軌道)

# 地上および航空機観測の配置図



# ロケット打上げ前後のGPS-TEC状況 (電子航法研·斎藤、NICT·津川)

#### July 20, 2013 22JST

#### 23JST

#### 24JST



国土地理院のGOENET(GPS観測網)から200点のデータを1秒毎に入手し、TEC値の全国水平分布を5分おきにweb配信した(電子航法研究所・斎藤による新システム) → 電子密度変動を確認した上で、23:00JSTと23:57JSTに観測ロケットを打上げた。

### リチウム及びTMA発光雲の撮像観測 (北大・渡部、高知エ大・山本真行、ISAS・羽生)



TMA: 航空機から



リチウム:種子島(地上カメラ)からament is provided by JAXA.

### リチウムガス放出の様子(光学観測結果) (ISAS・羽生)



LES - 3

### 発光雲観測結果に基づく噴射時間解析 (ISAS・羽生)



	LES-1 遅れ時間	LES-1 放出時間	LES-2 遅れ時間	LES-2 放出時間	LES-3 遅れ時間	LES-3 放出時間
LES-1基準の 発光雲長さ	0.28	1.00	0.28	1.10	0.34	2.19
取得画像 解析結果	0.81	2.89 VTR結果引用	0.81	3.18	0.98	6.33
VTR解析	0.86	2.89	0.88	3.28	1.08	6.73
差異	0.05	0.00	0.07	0.10	0.10	0.40

※1:LES-1の長さを解析の基準(1.00)とした. ※2:LES-1の噴射時間はVTR解析結果を基準とした.

#### TMA発行雲(S-310-42号機から放出):内之浦からの連続撮像





### TMA撮像に基づく 風速推定 (北大・渡部)

- TMA発光雲の形状とその
  時間変化をもとに、高度80
  ~140kmの風速の概形を
  推定した。
- 風速は80kmから100kmまで増大し、その上部では一 定値となる。風速ベクトル は高度ともに東→南→西方 向に回転する。
- Es層高度(約100km)付近 に東西高度シアがある。Es 層高度では風速は南向き 約100m/sである。
- 細かい風速分布について は、詳細解析を現在進めて いる。



# NEI観測と地上観測の比較



## ロケットビーコン(DBB)による電子密度測定 (京大・山本衛、NRL・Bernhardt)



### 電場観測結果(京大・山本衛・加藤、富山県大・石坂、 NICT・横山、東大・岩上、東海大・高橋、田中)



# 電子密度と電場の水平分布



GPS-TEC 2013/07/21 0:00 JST

- NEI電子密度から電離圏のPedersen 導電率の高度分布を求めたところ、 上昇時と下降時の差は高度280kmに おいて最大であった。
- 電離圏のE領域・F領域の範囲では地 球磁場は等電位と考えて良い。電界 は磁場に沿ってマッピングできる。
- 解析で得られた電場ベクトルを磁場 に沿って高度280kmに投影してベクト ル表示した(左図)ところ、
  - ▶ 電子密度の小さい領域(飛翔の 前半)では自然電場は北東<sup>~</sup>東 向きで大きく、
  - ▶ 電子密度の大きい領域(飛翔の 後半)では自然電場は小さい。
- この結果は、MSTIDを形作るとされる Perkins不安定が持つべき電子密度 と電場の構造に一致した。

# ロケット姿勢解析(1)(東海大・田中/高橋)



- ロケット姿勢:スピン、コーニング(機体軸とスピン軸のずれ)、歳差運動に分けて記述
- MAS (月センサ)とMGF (磁力計)を組み合せた解析によって、各時刻のロケット姿勢 を精度0.02度で決定した。磁場のIGRFモデル値からの乖離は±20nT程度である。
   更なる精度向上を目指している。

# ロケット姿勢解析(2)(東海大・田中/高橋)



# まとめ(1)

- 観測ロケット実験
  - MSTIDの出現(=電子密度の空間変動が多い状況)を選んで2機の打上げ(約1時間差)に成功した。
    - GPS受信機網を活用した日本上空の電離圏全電子数のリアルタイムモニタシ ステム(5分更新、ディレイタイム約3分)を開発し使用した。
  - リチウム放出機構の安定動作を達成した。
  - リチウム発光雲の満月下でのイメージングに成功した。
    - JAXA実験用ジェット航空機「飛翔」からの撮像を実現した。
- 2機連続打上げの利点
  - 電離圏E領域とF領域の観測を、それぞれS-310-42号機とS520-27号機を用いて実施した。
  - ビーコン観測は両方のロケットから実施し、E領域電子密度の状況 を1時間差で観測した。
  - リチウム放出実験は、今回は高度130kmで実施した。そのため TMAによる風速と時間(約1時間)×水平位置(約100km)離れた地 点の風速値を得ることができる。(リチウムについては現在解析中)

## まとめ(2)

- データ解析結果
  - TMAを用いて風速を推定(背景風成分)した。
  - 複数の電子密度観測から、大きな空間変動(ロケット飛翔の後半 (下降時)の増大)が検出された。
  - 自然電界が5mV/m程度であること、北東方向成分を持つこと、時間(空間)変動が検出された。
  - ロケット姿勢の精密測定に成功した。
- MSTIDに関する知見
  - これまでの結果は、予想されていた発生機構と整合的である。
    - 電子密度の減少・増大と電界強度の増大・減少の間に、それぞれ対応関係が ある。電界ベクトルは北東~東向きであり、Perkins不安定に類似している。
    - 高度100km付近にスポラディックE層があり、同高度に南向き風が存在する。
- 今後の課題
  - TMA/リチウム観測について大気波動成分の解析、
  - ロケット姿勢の精密値を用いた電界の詳細解析、
  - ロケットビーコン観測についてトモグラフィー解析、など