

# SS-520-3 号機の計画と期待される成果 Sounding Rocket Experiment SS-520-3

○ 齋藤義文 小嶋浩嗣 小川泰信 SS520-3 観測ロケット実験 PI チーム

宇宙科学研究所 京都大学生存圏研究所 国立極地研究所

Y. Saito, H. Kojima, Y. Ogawa, and SS520-3 PI Team

ISAS/JAXA, RISH Kyoto Univ., NIPR

電離大気加速・流出現象は、地球のみならず火星、水星を含む他惑星や月を含む衛星周辺でも起こる普遍的な現象であることが最近の国内外の観測で次第に明らかとなってきた。しかしながら、その流出機構については、それぞれの天体の条件で様々に変化し、それらの機構を理解することは天体周辺大気の変遷を理解・予測する上で必要不可欠である。SS520-3 観測ロケット実験は、地球で主要な電離大気流出が起きている極域カスプ周辺領域において、電離大気流出の主たる原因として理論的に想定されている波動-粒子相互作用を、将来の人工衛星ミッションに向けて新たに開発された観測装置を用いて世界で初めてその場で検出、説明するミッションである。

JAPAN-NORWAY Sounding Rocket Experiment 10-year plan No.1 Sounding Rocket  
ISAS SS520-3 Sounding Rocket Experiment from Svalbard

**目的:**  
カスプ上空電離圏最上部における流出イオンの加速・加熱メカニズムを明らかにする。

**希望打ち上げ時期:**  
2017年冬期

33 researchers from 11 universities / institutes are participating  
Kyoto Univ, Tohoku Univ, Toyama Pref. Univ., Kanazawa Univ., Nagoya Univ., Tokai Univ., ISAS, NIPR, Univ. of Oslo (Norway), IWF (Austria), IEP (Austria)

JAPAN-NORWAY Sounding Rocket Experiment 10-year plan No.1 Sounding Rocket  
ISAS SS520-3 Sounding Rocket Experiment from Svalbard

北極点  
EISCAT RADAR

**概要**

本ロケット実験では、SS-520にプラズマ波動およびプラズマ粒子の複数の観測装置を搭載し、極域層間側のカスプ領域上空をターゲットとして観測を行う。

使用ロケット SS-520  
打ち上げ場所 ノルウェー・スバルバル諸島 Ny Alesund  
打ち上げ方向 スバルバル・Ny Alesundから南南西方向  
打ち上げ年度 2017年度  
要求到達高度 Apexは高度800km以上

**地球磁気圏への粒子(イオン)の流れ**

イオン上昇流 (Ion upflow)  
Transversely accelerated ions (TAIs), イオンコニクス、イオンビーム  
極風 (Polar Wind)  
Cold ions  
Hot ions

Figure 1: Schematic diagram of the Earth's magnetosphere showing the various regions and boundaries (After Rostoker, 1981).

**地球の酸素イオン流出量**

極域電離圏から上向きに流れるイオンのフラックス:  
 $10^{12} \sim 10^{14} [m^{-2}s^{-1}]$   
[Coley et al., 2003; Ogawa et al., 2010]

磁気圏に流出したイオンの上昇フラックス:  
 $\sim 10^9 [m^{-2}s^{-1}]$   
(高度1000kmに投影すると  $\sim 10^{12} [m^{-2}s^{-1}]$ )

全イオン流出量:  
 $\sim 10^{31} [ions/day]$   
電離圏内の全イオン量:  
 $\sim 5 \times 10^{31} [ions]$   
[Engwall et al., 2009]

**電離圏イオン流出とイオン上昇流**

電離圏イオンは様々な領域/高度で加速・加熱を受けて上昇する

- 化学反応(電離、電荷交換反応、...)
- イオンの圧力勾配力(摩擦加熱、...)
- 双極性電場の効果(電子の圧力勾配力でイオンを引っ張る)
- ミラー力や遠心力(共に、1000 kmよりも高高度の無衝突プラズマで重要に。)
- 各種プラズマ波動(Ion cyclotron waves, broad band ELF, and Lower Hybrid waves,...)

上昇するイオンはこれらの過程で超音速(> 1-2 km/s)に。さらに、地球の脱出速度(約10 km/s、 $O^+$ では約8 eV)を超える。

単一の観測機器のみでは、すべてを理解することは不可能。人工衛星や、ロケット、地上レーダー、モデリングなどを相補的に組み合わせた観測・解析が重要に。

**搭載機器**

磁気圏 (Magnetosphere) / イオン圏 (Ionosphere)

アンテナ 伸縮機構

電力計 (フルスケール)  
電力計 (全電力)  
低周波変動観測システム  
データ取得タイミング制御  
波動粒子相関器

伸縮機構 熱的イオン観測装置  
伸縮機構 低エネルギーイオン観測装置  
伸縮機構 低エネルギーイオン質量分析器  
伸縮機構 低エネルギー電子観測装置  
伸縮機構 低エネルギー電子観測装置

アンテナ 伸縮機構  
アンテナ 伸縮機構  
アンテナ 伸縮機構

ラングミュアプローブ  
高周波アンテナシステム  
太陽センサー

タイマー

ロケットの飛行領域・ロケット姿勢・バックグラウンドの電離圏プラズマ状態のモニター  
低エネルギーイオン観測装置 ラングミュアプローブ インビデンスプローブ 太陽センサー

**流出イオンの加熱・加速メカニズムの特定**

電流駆動型 静電イオンサイクロトロン波  
非共振過程  
共鳴過程  
平行電場

イオン上昇開始メカニズムの推定  
落下電子やDC電場

磁場ベクトルの計測  
沿磁力線電流の計測  
磁力計 (フルスケール)  
磁力計 (全電力)

流出イオンの加熱・加速に伴う波動-粒子相互作用の検出  
極域電離圏観測システム  
波動粒子相関器  
イオンのエネルギースペクトル計測  
低エネルギーイオン質量分析器  
熱的イオン観測装置

流出イオンの加速・加熱をおこなう波動のエネルギー源の理解  
電子のエネルギースペクトル計測  
低エネルギーイオン観測装置  
高周波プラズマ波動・インビデンスプローブ

衛星ミッション用に新たに開発したあるいは開発している高性能観測装置を用いて、新たな観測を行う。

**波動-粒子相関器**  
Wave-Particle Interaction Analyzer  
(directly detecting wave-particle interaction with micro second time resolution)

プラズマ波動の観測装置と、プラズマ粒子の観測装置を接続して、波動と粒子の間のエネルギーのやり取りを直接計測する。

SS520-2ではターゲットを捉える事が出来なかったが、ターゲットを捉える事ができれば、波動-粒子相互作用の直接計測によって、波動による粒子加熱の決定的な証拠を得る事ができる。(注:過去のNy Alesundからの実験では、約2/3の割合でターゲットを捉える事ができている)

**打ち上げ時期**

地上からの光学観測を同時に行うため、冬期の新月付近を希望。

新月を挟んだ打ち上げウィンドウ:

1) 打ち上げ希望期間  
候補(ベスト)  
2017年12月10日頃から12月23日頃にかけて  
<2017年12月8日から12月21日までの2週間>

**打ち上げ条件**

打ち上げ時刻  
・0700UT-1100UT (0800LT-1200LT: 1000MLT-1400MLT)

打ち上げ条件及びタイミング  
・打ち上げ時の天候が光学観測可能な晴天の状態であること。  
・太陽風モニター衛星によって観測される惑星間空間磁場が、南向き状態を維持した状態であること。  
・ロケット軌道がカスプ領域上空を通過可能であること。(地上(Ny Alesund, Longyearbyen)からの光学観測や、HFレーダーのリアルタイムデータで判断可能)  
・ロケット軌道のAPEX(1000km付近)の磁力線に沿ったより低い約400km付近の高度において、カスプ領域に特有の電子温度上昇やイオンの上昇流がEISCATレーダーで観測されている状態であること。

以上の判断を打ち上げ約2時間前に行う。  
打ち上げの最終判断は打ち上げ約10分前に行うことを希望。

**ターゲットを捉える確率について**  
過去のSS520-2実験よりもターゲットを捉える確率を上げることができる

電離圏の状況をリアルタイムで把握する方法は、以下に例として挙げた理由などで、SS520-2を実施した2000年の頃比べて格段に発展している。それにより、ランチュウドウ中に打ち上げ条件を満たす機会はSS520-2の頃よりも増え、気象条件の良いときに打ち上げられる確率が向上する。

- ・ロングイヤビンの光学観測施設の運用(2007年開始)と、各種リアルタイムデータのウェブ公開。
- ・EISCATレーダー観測モードの自由度の向上とEISCATリアルタイムデータのウェブ公開。

また、SS520-2実験の際には、カスプの中心領域上空の狭い領域をターゲットとしていたが、その後のEISCATレーダーなどによるイオン上昇流の研究の結果、カスプ領域の高緯度側にイオン上昇流が発生する事が明らかとなった。今回の実験では、SS520-2実験の際よりも広い領域をターゲットにできるため、気象条件の良いときに打ち上げられる確率はSS520-2よりも高くなる。

**日本-ノルウェー共同観測ロケット実験10年計画**

2013 <アンダーから打ち上げ> 観測領域: 夜側オーロラ帯  
2014 日本ロケット  
2015 波動-粒子相互作用の役割の解明  
2016 原形オーロラの構造と生成メカニズム  
2017 2号機(SS520)  
2018 磁気圏-電離圏の同時観測  
2019 流出した電離圏プラズマがオーロラ生成に果たす役割  
2020 4号機(SS520)  
2021 電離大気流出過程のマイクrofiziksの統一的理解  
2022 極域電離圏におけるグローバルからメソスケール現象発生との観測によるマイクrofiziksの統一的理解とその役割(スケール間結合)の解明

**PIグループ名簿(順不同)**

小嶋 浩嗣 (京都大学 生存圏研究所)  
笠原 康正 (東北大学 大学院理学研究科)  
加藤 雄人 (東北大学 大学院理学研究科)  
石坂 圭吾 (富山県立大学 工学部)  
八木谷 聡 (金沢大学 理工学域)  
笠原 植也 (金沢大学 総合メディア基盤センター)  
井野 智彦 (金沢大学 理工学域)  
尾崎 光紀 (金沢大学 理工学域)  
後藤 由典 (金沢大学 理工学域)  
三好 由純 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)  
三宅 直 (東海大学)  
平原 聖文 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)  
齋藤 義文 (宇宙科学研究所)  
浅井 和史 (宇宙科学研究所)  
横田 勝一 (宇宙科学研究所)  
笠原 慧 (宇宙科学研究所)  
高島 健一 (宇宙科学研究所)  
阿部 珠美 (宇宙科学研究所)  
熊本 篤志 (東北大学)  
佐藤 由佳 (国立極地研究所)  
遠藤 研 (東北大学)

松岡 彩子 (宇宙科学研究所)  
高橋 陸男 (東海大)  
田中 真 (東海大)  
野村 龍子 (宇宙研)  
小川 泰信 (国立極地研究所)  
細川 敬祐 (電気通信大学)

W. Magnes, R. Nakamura, A. Pollinger (Space Research Institute (IWF))  
R. Lammegger, M. Ellmaier (Institute of Experimental Physics (IEP))  
Joran Moen (University of Oslo)

計33名、11機関

**まとめ**

- ・電離大気加速・流出現象は、地球のみならず火星、水星を含む他惑星や月を含む衛星周辺でも起こる普遍的な現象。しかし、その流出機構は、それぞれの天体の条件で様々に変化し、それらの機構を理解することは、天体周辺大気の変遷を理解・予測する上で必要不可欠。
- ・本ロケット実験においては、SS-520にプラズマ波動およびプラズマ粒子の複数の観測装置を搭載し、極域層間側のカスプ領域上空をターゲットとして観測を行う。特に、波動-粒子相関器により、プラズマ波動の観測装置と、プラズマ粒子の観測装置を接続して、波動と粒子の間のエネルギーのやり取りを直接計測する。

使用ロケット: SS-520  
打ち上げ場所: ノルウェー・スバルバル諸島 Ny Alesund  
打ち上げ方向: スバルバル・Ny Alesundから南南西方向  
打ち上げ年度: 2017年度の冬期  
要求到達高度: Apexは高度800km以上