

# S-520-3 号機観測ロケット実験の進捗状況

齋藤義文・小嶋浩嗣・小川泰信

SS-520-3 観測ロケット実験 PI チーム

## 1. SS-520-3 号機観測ロケット実験の概要

過去の観測ロケット実験や、衛星観測によって大量の電離圏イオンが極域の電離圏特にオーロラ上空やカusp領域から磁気圏へ逃げ出していることが知られている。極域のカusp領域は、昼間側の磁気圏界面に磁力線がつながった領域であり、太陽風のエネルギーが直接注入される領域である。電離大気の加速・流出現象は、地球のみならず火星、水星を含む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。SS-520-3 号機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冠オーロラ上空又は極域カusp周辺領域において、電離大気流出の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、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、解明することを目指したミッションである。これらの波動-粒子相互作用は、高度 700km 以上の高度で効果的に起こることが予想されているため、本実験には最高高度 700km を超えることのできる 2 段式の SS-520 ロケットが必要である。また、朝側の極冠オーロラ上空・昼間側のカusp領域を通過するように SS-520 を打ち上げることのできる射場はスピッツベルゲン諸島スバルバードのニーオレスン実験場しかない。なお、本観測ロケット実験は、地上のレーダや光学観測を含む包括的な観測キャンペーンの一環として打ち上げられ、Grand Challenge Initiative-Cusp (GCI-Cusp) と呼ばれる国際的な共同科学観測プロジェクトにも参加している。図 1 に SS-520-3 観測ロケット実験の実験概念図を示す。

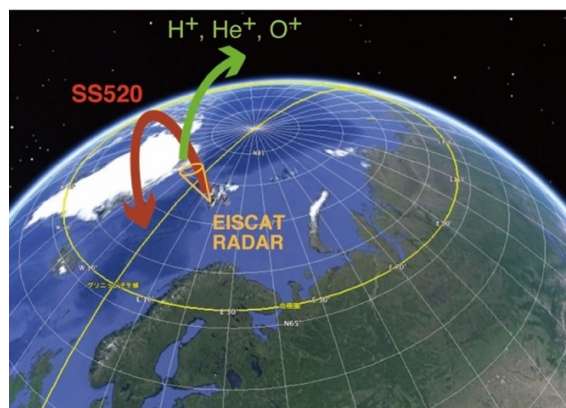


図 1 SS520-3 観測ロケット実験の実験概念図

## 2. SS-520-3 号機観測ロケット実験の科学目的

SS-520-3 観測ロケット実験の科学目的は、観測ロケット搭載観測装置による高時間分解能その場観測と、地上の光学観測、レーダー観測を同時に実施することによって、極冠オーロラ上空又は極域カスプ周辺領域における電離大気流出の原因となるイオンの加速・加熱機構を解明することである。イオンの加速・加熱機構としては、電流駆動型プラズマ不安定によって生成される静電波によるイオンの加速が最も重要なメカニズムであると考えられているが、加速・加熱メカニズムの詳細は、その場における高時間・空間分解能観測が少ないことから、未だにはっきりとしていない。SS-520-3 号機観測ロケット実験では、極冠オーロラ上空又はカスプ領域で、プラズマ粒子とプラズマ波動のその場高時間分解能観測を行うことで、イオンの加速・加熱メカニズムを明らかにする。SS-520-3 号機観測ロケットには、プラズマ粒子とプラズマ波動の相互作用を直接検出することのできる、新規開発の波動-粒子相関器が搭載されるが本観測装置によって、このメカニズムの理解が飛躍的に進むものと考えている。現サイクルの太陽活動は特異とも言える低活動状態にあるが、特異な低活動太陽状態の場合に生じる電離大気流出の発生メカニズムを理解することにより、マウンダー極小期などを含む過去数100 年間の大気流出量の変動及び、大気変遷に与える影響の更なる理解に本ロケット観測は貢献することができる。なお、SS-520-3 号機観測ロケット実験は、SS-520-3 号機観測ロケットチームと、地上の光学観測チーム、EISCAT スバルバードレーダー観測チームと共同で実施する。

図2に搭載観測装置のPI部ブロック図を示す。SS-520-3 観測ロケットには、デジタル方式フラックスゲート磁力計 (DFG)、低周波波動解析システム (LFAS: Low Frequency Analyzer System)、熱的イオン分析器 (TSA: Thermal ion Spectrum Analyzer)、低エネルギーイオン/電子計測器 (LEP: Low Energy Particle experiment)、低エネルギーイオンエネルギー質量分析器 (IMS: Ion Mass Spectrometer)、高速ラングミュアプローブ (FLP: Fast Langmuir Probe)、針状ラングミュアプローブ (NLP: Needle Langmuir Probe)、高周波プラズマ波動・インピーダンスプローブ (PWM: Plasma and Wave Monitor) の各観測装置と、姿勢決定のための太陽センサー (SAS: Sun Aspect Sensor) を搭載する。このうち、NLPはノルウェーから提供される国外の観測装置である。また、LFASとTSA/IMSの双方で取得されるデータを高速にメモリに保存し、メモリに保存されたデータを地上に送って解析することで、これらの観測装置は、WPIA(Wave Particle Interaction Analyser: 波動粒子相関器)として機能する。図3にはそれぞれの観測装置の観測対象と、明らかにすべき科学目的を示す。

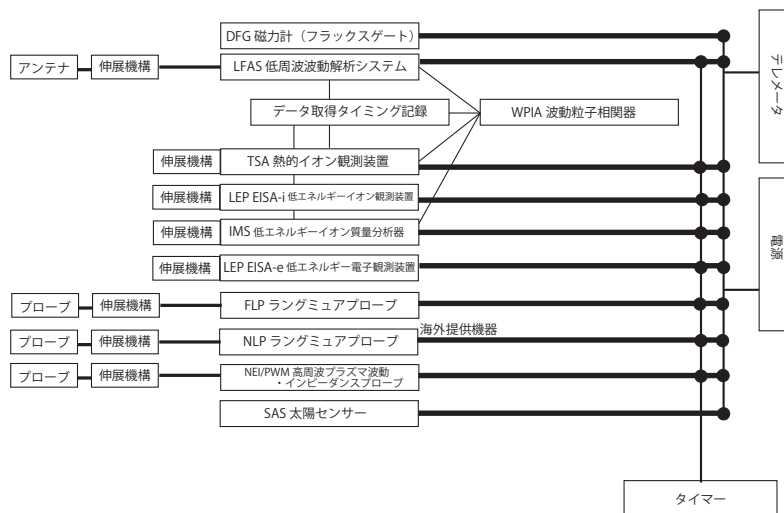


図 2 SS520-3 搭載観測装置ブロック図

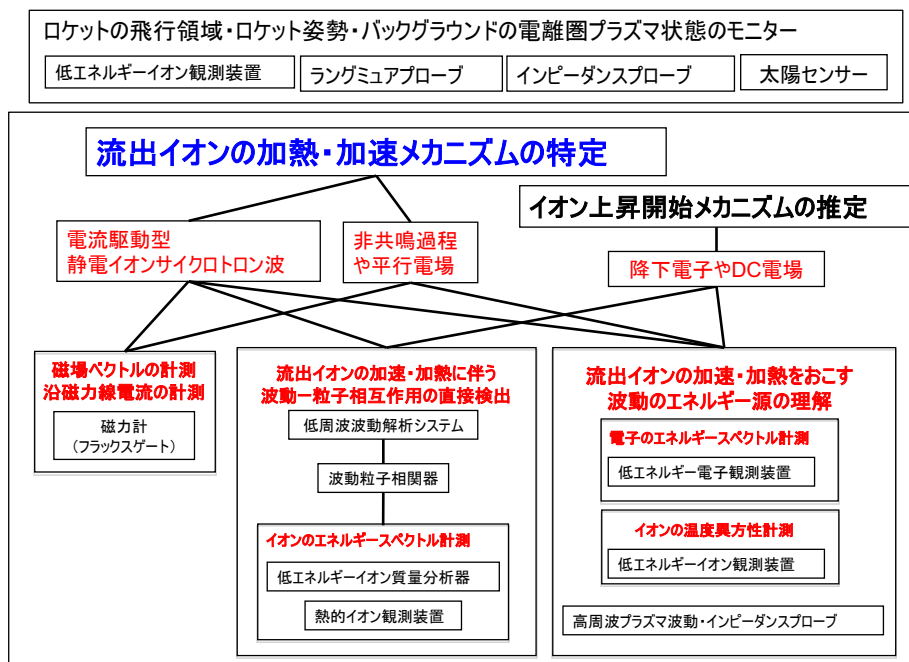


図 3 SS520-3 搭載観測装置の観測対象と、明らかにすべき科学目的

### 3. SS-520-3 号機観測ロケット実験の現状

SS-520-3 の打ち上げは 2017 年 12 月 6 日から 19 日の間を目指していたが、噛み合わせ試験の最終段階で、タイマ試験（タイマシーケンス中の火工品発火や搭載機器類の動

作確認)において、コマンド抜け、すなわち搭載機器の高圧電源が入らないなどの不具合事象が確認された(火工品点火については問題なし)。当該実験は海外打上げであることから、機材輸送は打上げ時期の約2か月前(10月中旬)が制約になっていた。しかし、出荷時期までに当該不具合事象の技術的な確認および処置の完了がさせることが困難であると判断されたため、実験実施の延期を決定した。2018年度の時点でこの問題については原因の解明と処置が完了していたが、2018年度、2019年度冬期の打ち上げは、予算の関係で実現できなかった。その後2020年度冬期の打ち上げを目指したが、コロナウィルスの関係でさらに1年の打ち上げ延期を余儀なくされ、2021年度の打ち上げを目指すことになった。

2019年度は太陽活動の極小期となったため、もともとのターゲットとしていたカスプ領域における電離大気流出現象を狙った打ち上げ機会を捕えることの出来る確率は低くなっていた。そこで、同様の電離大気流出現象を伴う極冠オーロラ上空における電離大気流出現象をターゲットに加えることにした。そうすることによって、ターゲットを狙って打ち上げることのできる日数を増やすことが可能となり、太陽活動が低い時期でもSS-520-3のサイエンスの目的は十分に達成できる見込みとなった。現在、太陽活動は回復の途中であるが、2021年11月の段階でもまだカスプを観測できる確率は十分に高くないことが予測されることから、カスプ/極冠オーロラ両方を狙えるように打ち上げ時間を設定し、打ち上げ可能日数の期待値をできるだけ高くすることにした。

打ち上げのタイミングを決定する際には、地上からの光学観測の情報も重要であるため、打ち上げは、冬期の新月付近が望ましい。そこで、射場における太陽と月の条件から打ち上げ希望期間を2021年11月3日から11月16日までの2週間と決定した。また、カスプ/極冠オーロラ両方を狙えるように打ち上げ時間を決定する必要があるため、打ち上げの時間は、0500UT-0900UT(0600LT-1000LT: 0800MLT-1200MLT)に設定し、状況に応じて30分間程度延長(0500UT → 0930UT)することにした。朝側ポーラーキャップオーロラをターゲットにする場合、現象が太陽風中の磁場が北向きの時に発生するため、太陽風中の磁場が南向きの時に狙いやすいカスプ領域をターゲットにする場合と相補的であること、現象が決まった時間間隔で繰り返し発生するため、地上の光学観測やレーダー観測のリアルタイムデータから、比較的容易に打ち上げタイミングを決定しやすいこと、発生タイミングの推測が比較的容易であるCo-rotating Interaction Region(CIR)の 때가特に有望であることが認識されているが、最終的にどちらのターゲットを選ぶかは射場における天候の条件とも併せて決めることになる。まだまだCOVID-19の感染状況がどのようなになるか不確定な要素はあるものの、実験チームとしては何とか2021年度中に実験を実施したいと考えており、COVID-19の感染対策を進めつつ2021年11月の打ち上げを目指して準備を進めているところである。