

## issas15-sbs-015 SS-520-3 号機の計画と期待される成果

齋藤義文・小嶋浩嗣・小川泰信

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、解明するミッションである。

STP 分野では 1990 年代以降これまで北欧において数回のロケット実験を行ってきた。北欧からのロケット実験では、昼間側カスプ領域や、オーロラ帯が観測の対象となるが、これらの領域は磁気圏から飛来するプラズマ粒子や電離圏のプラズマ粒子がプラズマ波動との相互作用を含む様々な物理・化学プロセスを経て加速され、大気圏側へ降下あるいは磁気圏側へ流出するという、STP 分野にとって非常に興味深い領域である。地上からの光学/レーダー観測などの遠隔観測に加え、人工衛星搭載の観測装置によってもこれらの領域の直接観測を行っている。ただし、人工衛星は継続的な観測ができるものの、その飛行速度が速いため、空間的に小さいスケールの観測を行うことは困難である。一方観測ロケットは、単発ではあるが空間的に小さいスケールの観測を実現できるので、人工衛星による観測とロケットによる観測はプロセスの理解のためにどちらも欠くことのできない相補的なものであると言える。STP 分野では、今後も「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の鍵となるマイクロフィジックスの統一的理解とその役割（スケール間結合）の解明」を目指して、極域における観測ロケット実験を進めていく予定である。SS520-3 観測ロケット実験は、「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の鍵となるマイクロフィジックスの統一的理解とその役割（スケール間結合）の解明」を目指した観測ロケット実験の一号機と位置つけることができ、2016 年度に、北欧 Ny Alesund からの打ち上げを目指している。

本観測ロケット実験に関連する人工衛星による成果として、「れいめい」衛星によるオーロラ光およびオーロラ粒子の観測が挙げられる。「れいめい」は 2005 年 8 月 24 日に打ち上げられた小型極軌道衛星であり、搭載された低エネルギー電子・イオンの計測装置は、SS520-2 観測ロケットでフライト実証された技術が用いられている。この「れいめい」衛星

の粒子計測装置を用いたオーロラ粒子の高時間分解能観測により、今回提案するロケット実験の対象とするカスプ上空における観測にも成功している。また、高度 600 km 付近にイオンの垂直加熱領域（数 eV までの加熱が確認されている）が存在することが確認されている。ただし「れいめい」にはプラズマ波動観測装置が搭載されていなかったため、加熱の有力なメカニズムであるプラズマ波動-粒子相互作用が流出イオンに与える影響は不明のままである。

「れいめい」以前の国内外の極軌道衛星でも、カスプを含む極域における電離大気（イオン）流出現象に関する多くの観測がなされている。1989 年から現在に至るまで観測を継続している「あけぼの」衛星では、長期間にわたる高精度及び均一のデータを活かして高度 4000km 以下の領域での水素イオン・酸素イオン流出の太陽活動度依存性を明らかにしている。その他に、欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダーを用いた地上からの電離圏観測によっても長期間にわたる熱的酸素イオン上昇流の観測がなされており、太陽活動度と上向き酸素イオン速度との関係が明らかになりつつある。これらの観測結果によると、太陽活動度が低い時期にはイオンが頻繁に加速を受けて上昇するという結果が得られているものの、地上レーダーで観測可能な物理量は、1 電子ボルト（eV）以下の非常に低いエネルギーを持つ熱的イオンの加熱や加速に限られる。そのため、磁気圏流出に繋がる（より高い 1 eV 以上のエネルギーへの）加熱や加速メカニズムについては十分に明らかになっていない。

SS520-3観測ロケット実験は、これらのイオン流出のメカニズムを、その加速領域（高度 500 km以上の領域に存在することが、これまでの衛星・ロケット観測から分かっている）に直接観測ロケットを飛行させて明らかにしようとするものである。特に、新規開発のプラズマ波動-粒子相互作用解析装置を用いてイオンの加熱・加速をその場で定量的に検出することにより、イオンの磁気圏流出に繋がる加熱や加速メカニズムを明らかにすることを目指している。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、大気組成の変遷に電離大気流出が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。

SS520-3 観測ロケット実験が解明を目指す波動-粒子相互作用は極域カスプ上空 800km 付近から効率よく働いていると予測されており、本実験には 800km 以上の高度まで到達できる SS520 の使用が必須となる。更に、カスプ上空に SS520 を打ち上げる事のできる射場は、スピッツベルゲン・ニーオレスンを除いて他には無い。本実験においては、ロケット搭載観測装置による直接計測と、地上からのレーダー及び光学観測を総合的に実施する。

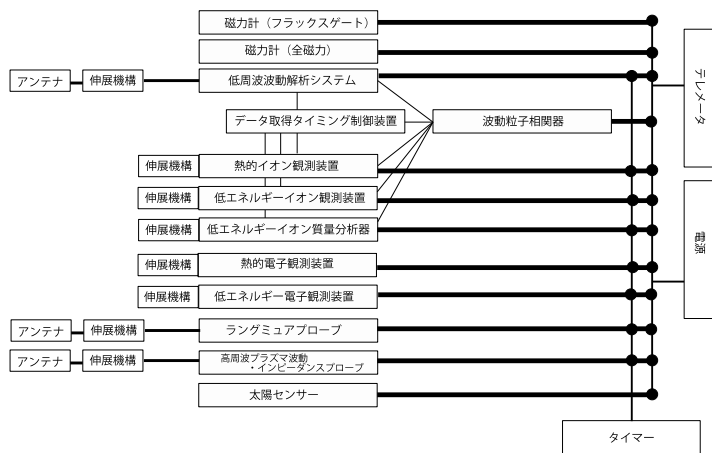


図 1 SS520-3 搭載観測装置ブロック図

図 1 に搭載観測装置の PI 部ブロック図を示す。SS520-3 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)、全磁力を計測する Coupled Dark State Magnetometer (CDSM)、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、CDSM はオーストリア、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 Analyzer: 波動粒子相互作用解析装置) として機能する。この WPIA を用いることで、地球電離圏における電離大気流出につながる、電離大気加熱、加速メカニズムの解明にブレークスルーをもたらす計画である。図 2 に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。

SS520-3 観測ロケット実験の主目的は、地上非干渉散乱 (IS) レーダーによっても観測されているカスプ領域における電離圏イオン流出のメカニズムを、その加速領域に直接観測ロケットを飛行させて明らかにしようとするものである。従って EISCAT スーパーバルレーダー (ESR) との連携及び、同時観測は必須である。ESR のリアルタイム観測データは、観測ロケット打ち上げ時に流出現象が起きていることのモニターとして必要不可欠である他、ロケット観測データの解釈に必要な熱的イオンの時空間分布の情報を与えてくれる。ESR は数 10km オーダーの平均的な描像を得ることができるのに対し、観測ロケットはロケット軌道上のその場の詳細な情報を得ることができるため、同時に異なるスケールで観測

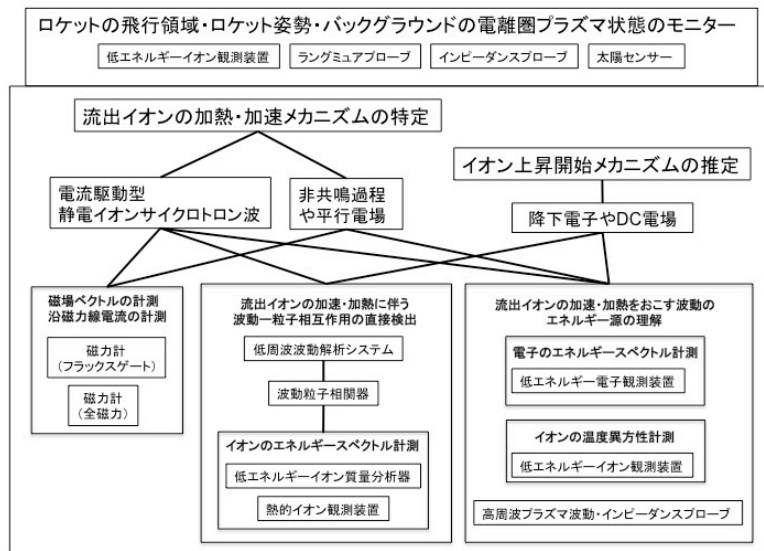


図 2 SS520-3 搭載観測装置の観測対象と、明らかにすべき科学的

目的  
 ト実験との共同観測についても、これまでに多くの実績を有する。今回提案する SS520 によるロケット実験においても、国内外の研究者と共に、密接な共同観測・共同研究を期待

できる。図 3 に EISCAT レーダーとの共同で行う SS520-3 観測ロケット実験の概念図を示す。  
 SS520-3 観測ロケット実験では、打ち上げタイミング決定の条件である「観測ロケットの軌道が観測対象とするカスプ領域の上空を通過するかどうか」の判断には、主に地上からの光学観測のリアルタイムデータが重要になる。これらの観測はロケット射場のある Ny Alesund ではノルウェーのオスロ大が行っている他、約 100 km 離れたスバルバード島内の Longyearbyen ではオスロ大、The University Centre in Svalbard (UNIS) の他、日本も極地研のグループを中心にオーロラ分光器や全天カメラを用いた観測及びリアルタイムデータ公開を継続しており、国内及びオスロ大、UNIS の研究者を通じて、ロケット実験時の支

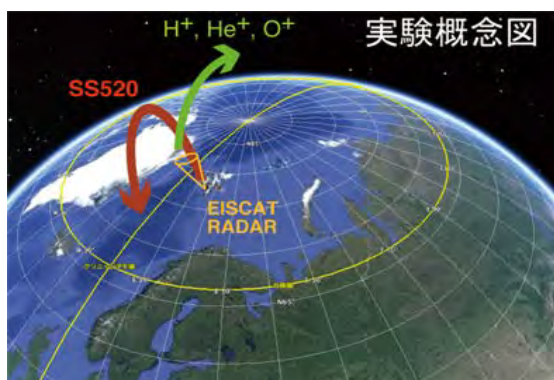


図 3 EISCAT レーダーとの共同で行う SS520-3 観測ロケット実験の実験概念図

されたデータを取得できる。このこともイオン流出現象の理解のために、非常に役立つと言える。EISCAT レーダーに関して、日本は 1996 年に EISCAT 科学協会に加盟後、国立極地研究所や名大 STE 研究所を共同利用機関として EISCAT レーダーを用いた極域超高層大気

の共同観測・共同研究を活発に実施している。ロケット

に実施している。ロケット  
 共同観測・共同研究を活発  
 に実施している。ロケット  
 共同観測・共同研究を活発  
 に実施している。ロケット

援を期待できる。

北欧 Ny Alesund からの宇宙研の観測ロケットの打ち上げは、SS520-2 号機に続き 15 年ぶりである。この大変貴重な機会を最大限に生かして、電離大気流出の原因として理論的に想定されていながら未解決のままとなっている、波動-粒子相互作用の検出に是非とも成功してそのメカニズムを解明したいと考えている