

超高層大気分野研究の将来計画における観測ロケット実験

齊藤 昭則、坂崎 貴俊 (京都大学大学院理学研究科)
阿部 琢美 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)
横山 竜宏(京都大学生存圏研究所) 西山 尚典 (国立極地研究所)
高橋 透 (電子航法研究所)

Sounding rocket experiment in the future plan of the upper atmospheric research

A. Saito, T. Sakazaki
(Kyoto University, Graduate School of Science)
T. Abe
(Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical
Science)
T. Yokoyama
(Kyoto University, Research Institute for Sustainable Humanosphere)
T. Nishiyama
(National Institute of Polar Research) , and
T. Takahashi
(Electronic Navigation Research Institute)

1. 近年の超高層大気分野の観測ロケット実験

観測ロケット実験は超高層大気の観測的研究には不可欠であり、継続的に実施されている。およそ高度90km以上の超高層大気領域の観測は地上からの遠隔観測と人工衛星による直接観測・遠隔観測によって行われているが、観測ロケット実験はこれらと並び重要な観測手段である。2010年代以降の宇宙科学研究所観測ロケットによる超高層大気分野の実験の実施年、ロケット、実験名、実施地は以下の通りである：

- ・ 2011年 S-310-40
夜間下部電離圏のプラズマ密度空間構造：内之浦
- ・ 2012年 S-520-26
中性大気とプラズマのカップリング（リチウム放出）：内之浦
- ・ 2013年 S-520-27&S-310-42
電離圏E領域とF領域の電磁的結合（リチウム・TMA放出）：内之浦

- ・ 2014年 S-520-29
スプラディックE層の空間構造の立体観測 (Mg+イメージャ) : 内之浦
- ・ 2016年 S-310-44
Sq電流系中心付近における電離圏プラズマ加熱現象の解明 : 内之浦
- ・ 2021年 SS-520-3
極域カusp上空に発生する電離大気流出過程の解明 : ノルウェー・スバルバード
- ・ 2022年 S-520-32
夜間の伝搬性電離圏擾乱の解明 : 内之浦
- ・ 2024年 (予定) S-310-46
昼間のスプラディックE層の中性・電離大気同時計測 : 内之浦

内之浦宇宙空間観測所での中緯度電離圏を対象とした実験が多いことが分かる。またリチウム放出痕の追跡による中性風の測定のように、複数回の実験により測定技術の確立が行われた例もある。

米国NASAによって2022年の年間報告で報告されている超高層大気分野の実験の実施時期、実験名、実施地、観測対象は以下の通りである[NASA Sounding Rockets Annual Report 2022] :

- ・ 2021年12月 : Cusp-Region Experiment 2 (C-REX 2)
ノルウェー・アンドーヤ : カusp領域
- ・ 2022年3月 : Loss through Auroral Microburst Pulsations (LAMP)
米国アラスカ・ポーカーフラット。日本グループが搭載機器参加
- ・ 2022年4月 : Ion-Neutral Coupling During Active Aurora (INCAA)
米国アラスカ・ポーカーフラット : その場計測とTMA放出
- ・ 2022年5月 : Endurance
ノルウェー・スバルバル : 磁力線方向の両極性電場
- ・ 2022年8月 : Sporadic E Electro Dynamics Demonstration (SpEED Demon)
米国・ワロプス島 : スプラディックE層観測。本観測は2024年夏

宇宙研ロケットによるロケット実験が2010年代の10年間で5回だったのに対して、NASAでは2022年1年間で5回実施されており、およそ10倍の頻度で行われていることが分かる。観測対象はアラスカ及びノルウェーの高緯度域が多いが、中緯度域のワロプス島でも実施されている。アラスカで実施されたLAMPキャンペーンにはロケット搭載機器と地上観測とで日本の研究グループが参加している。

2. 超高層大気分野の観測ロケット実験の特徴

超高層大気分野の観測ロケット実験の特徴は、「必要性」と「役割」の2つに分けることができる。

観測ロケット実験の「必要性」としては以下が挙げられる：

- (1)地上や人工衛星からの遠隔観測では測定できない物理量の測定
- (2)人工衛星観測では得られない高度方向の連続的観測と高度300km以下の低高度観測
- (3)現象に向けた観測

観測ロケット実験の「役割」としては以下が挙げられる：

- (4)人工衛星搭載に向けた測定装置の開発
- (5)若手人材育成

(1)としては、超高層大気に対して最も強力な遠隔観測手段であるインコヒーレント散乱レーダーでも中性大気の密度・組成など測定できない物理量は多く、ロケット実験による直接の計測を必要としている。(2)としては、運動を支配する駆動力が異なる中性大気とプラズマ大気の相互作用が、超高層大気の複雑な振る舞いの理解には重要であるとの認識が広まっているが、それらの相互作用が強い領域は中性大気が十分な密度を持つ高度300km以下であるため、この高度領域はそれらの高密度の中性大気による大気抵抗により人工衛星が長期間飛翔できず、観測ロケットによる測定が適している領域である。また、高度方向に連続的な観測ができることも観測ロケット実験のみで可能である。(3)としては、人工衛星による観測では散発的に発生する現象の発生している領域を人工衛星が観測するのは偶然によるしかないが、観測ロケット実験では、時間と場所を予測し、現象の発生を待って観測することが可能であり、これも観測ロケット実験の特徴である。

また、これらの「必要性」に加えて、超高層大気分野の研究を推進する上で、観測ロケット実験が貢献している「役割」がある。(4)の測定装置の開発と(5)の人材育成は超高層大気及びジオスペースの研究分野において観測ロケット実験が果たしている貢献の中で大きなものである。特に若手人材の育成は重要であり、そのためには、これまで観測ロケット実験に参加してきた研究グループだけではなく、新たな研究グループの参加が不可欠である。また、観測ロケット実験の連携プロジェクトであるGrand Challenge Initiativeで行われているような、学生によって開発された装置のみを搭載する観測ロケット実験が人材育成、裾野の拡大のためには有効であろう。そして、(4)の装置開発や既参加グループの技術開発のためにも、継続的な観測ロケット実験の実施は非常に重要である。

3. 超高層大気分野の将来計画における観測ロケット実験

超高層大気分野の将来計画において、観測ロケット実験は不可欠のものとして位置付けられている。さらに、将来の再使用型観測ロケットへの発展も期待されてい

る。超高層大気分野の研究の方向性としては、磁気圏からのエネルギーや物質の流入に対する応答と、対流圏・成層圏などの下層大気からエネルギーや物質の流入に対する応答の2つが課題とされており、それらの過程の解明から、宇宙天気現象である超高層大気の変動の理解と予測へつなげていくことが期待されている。ここでは、現象の平均的な描像ではなく、個々のイベントの解明が求められており、そのためには単発の観測ではなく、再使用型観測ロケットによる継続的な繰り返し観測が必要とされている。これは、気象分野における対流圏の気球による観測と同等の役割と捉えることができる。また、観測領域として、日本国内だけではなく、より超高層大気現象の激しい高緯度域・赤道域や、それらの領域における重点的な地上観測設備がある地点での観測の実施が期待されている。

4. まとめ

超高層大気分野の研究推進のためには観測ロケット実験は不可欠な観測手段である。その「必要性」としては、・地上や人工衛星からの遠隔観測では測定できない物理量の測定・人工衛星観測では得られない高度方向の連続的観測と高度300km以下の低高度観測・現象に向けた観測、が挙げられ、その「役割」としては、・人工衛星搭載に向けた測定装置の開発・若手人材育成、が挙げられる。これらのために、継続的に超高層大気分野を対象とした観測ロケットを実施していくことは重要である。また、将来的には、磁気圏と下層大気の両方からの駆動力によって生じる宇宙天気現象をイベント・スケールで理解・予測することが重要であり、そのためには、再使用ロケットによる同一機器による繰り返し観測が重要になっていくと考えられる。課題としては、幅広い研究者の観測ロケット実験への参加拡大とともに、搭載機器開発予算の確保、多様な場所での適正頻度での打ち上げ機会の確保が挙げられる。

参考文献

NASA Sounding Rockets Annual Report 2022, https://sites.wff.nasa.gov/code810/files/Annual%20Report%202022_web.pdf
Grand Challenge Initiative, <https://www.grandchallenge.no/>