

宇宙研の観測ロケットへの希望 ～宇宙赤外線背景放射ロケット実験の紹介～

津村耕司¹、中川貴雄²、松浦周二³、白旗麻衣⁴、新井俊明¹

¹東北大学 学際科学フロンティア研究所、²宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

³関西学院大学 理工学部 物理学科、⁴国立天文台 JASMINE 検討室

概要

我々は NASA の観測ロケットを用いた天文観測プロジェクト Cosmic Infrared Background ExpeRiment (CIBER)において、2009 年から 2013 年にかけて 4 回の打ち上げ観測を成功させ、科学成果を挙げてきた。この経験から、今後の天文学研究において必要な観測ロケットへの要求と、JAXA 宇宙研の観測ロケットへの希望について述べる。

1. Cosmic Infrared Background ExpeRiment (CIBER)

宇宙初期から現在に至る星形成の歴史の積算を近赤外線波長域での宇宙赤外線背景放射として観測することを目的に、日米韓の国際協力のもとロケット実験 Cosmic Infrared Background ExpeRiment (CIBER)を進めてきた。CIBER では、NASA の観測ロケット Terrier-Black Brant IX(1-3 回目)および Black Brant XII(4 回目)に、3 種類 4 本の冷却赤外線望遠鏡を搭載し(図 1)、NASA White Sands Missile Range(1-3 回目)および NASA Wallops Flight Facility(4 回目)から打ち上げ観測を実施した。ロケットは最高高度約 330 km(1-3 回目)および 580 km(4 回目)に達し、高度 200 km 以上にて約 420 秒(1-3 回目)および 620 秒(4 回目)の天文観測を成功させた。1-3 回目の打ち上げ観測後は、観測装置をパラシュートにて落下させ回収後、装置の修理・改造をし、次回以降の観測に再利用した。高価な装置を含む観測システムを再利用することで、コスト削減だけでなく、短期間での繰り返し観測や、打ち上げ観測前後での装置の性能比較実験などが可能となり、単発のロケット観測と比較して格段に観測の信頼性を高めることができた。4 回目の打ち上げでは、より高い高度と長い観測時間を求めて、回収はできないがより高高度が達成可能なロケットを利用して観測を行い、プロジェクトを締めくくった。CIBER の装置に関する詳細については参考文献[1-4]を、得られた科学成果については参考文献[5-7]を、NASA の観測ロケットについては参考文献[8,9]を参照のこと。現在は、CIBER と同型のロケットを利用し、より大口径の 28.5cm の反射望遠鏡を搭載する CIBER-2 の準備を進めている[10]。表 1 に CIBER および CIBER-2 の観測ロケットへの要求をまとめる。

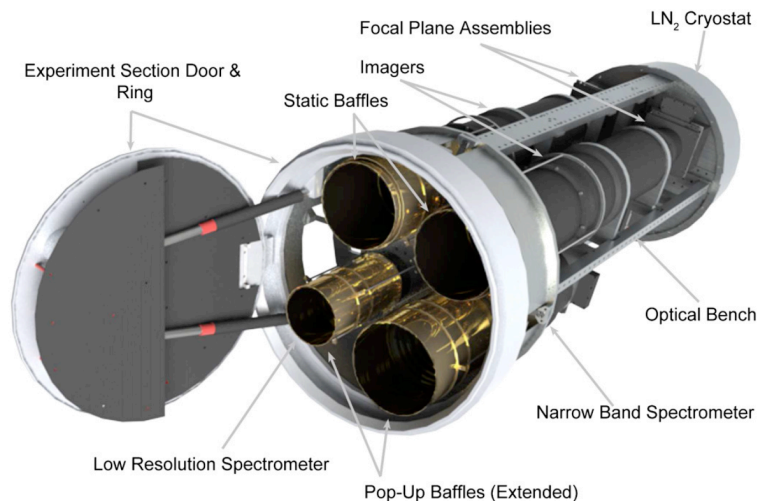


図 1 CIBER の観測装置[1]。3 種類 4 本の冷却赤外線望遠鏡がロケットに搭載されている。

表1 CIBER と CIBER-2 の観測ロケットへの要求

	CIBER (実績) [1]	CIBER-2 (要求) [10]
装置質量	450 kg	CIBER と同等
到達高度	高度 200 km 以上での観測	高度 200 km 以上での観測
姿勢制御精度	指向精度 <15 分角 姿勢安定性 <3 秒角 (30 秒間) 複数天域のポインティング	指向精度 <15 分角 姿勢安定性 <2 秒角 (30 秒間) 複数天域のポインティング
通信速度	30 Mbps (観測データは全て即時ダウンリンク)	強い要求はなし (観測データはレコーダーに保存)
装置の回収	必須 (ただし最後の打ち上げでは回収なし)	必須 (観測データはレコーダーに保存)
電力	<18 W	CIBER と同等
その他	搭載装置を液体窒素冷却 ポップアップバッフル	搭載装置を液体窒素冷却 ポップアップバッフル

2. 天文観測における観測ロケットの必要性

地球大気による吸収のため、地上から可能な天文観測は可視光から近赤外線、および電波の波長帯にほぼ限られる。また、地上観測が可能な波長域においても、大気のゆらぎや大気光の影響を受けてしまう。従って大気圏外からの天文観測は非常に重要であり、その中でも観測ロケットという手段は人工衛星と比べて

- (1) 新しい分野における迅速な成果創出
- (2) 萌芽的な分野における原理実証
- (3) 人材育成

という観点から重要である。

CIBER のわずか口径 5-10 cm の望遠鏡による観測で大きな成果を上げることができた要因は、科学目的を絞り、それに特化したシステムを構築したという点が大きいの。CIBER の観測波長帯である 0.7-1.8 μm では大気は透明なため地上観測が可能であるが、強い大気光のため面輝度観測では大きな制約を受ける。面輝度観測には宇宙望遠鏡が必要であるが、地上観測が可能な波長帯であるがゆえに、日本の赤外線天文衛星「あかり」[11]や NASA の赤外線宇宙望遠鏡 Spitzer[12]などの既存の赤外線宇宙望遠鏡ではこの波長帯はカバーされていない。そこで CIBER では、小口径でも光学系を広視野にすることで面輝度に対する高感度を達成するという戦略をとり、それに特化した望遠鏡を開発することで、大きな科学成果を上げることになった。また、国立天文台が中心となり太陽のハンレ効果の観測を目指す CLASP[13]でも、同型の NASA の観測ロケットを用いて太陽のライマンアルファ線の高分散偏向観測を成功させた。このように天文学においても、科学目的を絞りそれに特化した装置を搭載することで、観測ロケットを用いて大きな科学成果を上げることができる。

気球や観測ロケットによる天文学は、大型の人工衛星ミッションへの人材供給という観点からも重要である。近年のスペース天文学においては、Astro-H や SPICA に代表されるように装置が大型化し、その実現には 10 年以上の時間を要する。このような大型の宇宙望遠鏡の実現は天文学を大きく発展させることは間違いないが、その開発と並行して短期的に天文学的成果を上げることは困難であり、任期付きのポストが急増する現在の研究環境において、参加する研究者のキャリア形成における大きな問題となっている。一方で気球や観測ロケットでは、構想から装置開発・観測・データ解析・論文発表までを 3-5 年で実現可能であり、かつ一人の研究者がプロジェクトの全体像を把握できる規模である。そこで、気球や観測ロケットで研究成果をあげつつ経験と実績を積み、大型の人工衛星ミッションに人材供給するという観点からも、気球や観測ロケットで継続的に天文プロジェクトを推進していく必要性が再認識されつつある。

3. 天文観測において求められる観測ロケットの仕様

表2に天文観測分野における観測ロケットの需要について整理した。主には地上観測が不可能な波長帯(X線・紫外線・赤外線)に需要があり、単体で科学成果を上げることを目的とするほか、将来の人工衛星への搭載に向けた技術実証という観点での需要も根強い。

次に、表3に天文観測から観測ロケットへの一般的な要求をまとめた。最も重要な要求は指向精度要求である。ほとんどの天文観測において、特定天体(天域)に望遠鏡を指向することは最低限必要な要求となる。従って観測ロケットの指向・姿勢制御は必須の要求である。現状の宇宙研の観測ロケットでは姿勢安定性は0.3度程度(表4)であり、これでは天文観測への応用は厳しいが、これが1分角程度にまで精度が向上すると、天文観測での需要が出てくると思われる。また、姿勢制御要求と並んで要望が強いのが装置の回収である。赤外線検出器など高価な装置を搭載した場合、継続的な観測を実現するためには装置の回収が強く望まれる。また、発生するデータ量が通信能力を越えることが想定される場合、観測データの回収のために装置の回収が必須となる。宇宙研の観測ロケットの場合は海洋に向かっての打ち上げが基本となるため、装置の回収をするためには浸水防止対策を考える必要があり、難易度が上がる。

表2 天文観測各分野における需要 (私見でまとめたもの)

ガンマ線・硬X線	気球高度においてもかなりの観測が可能であるため、搭載可能な装置の重量の観点から、ロケットの優位性を出しにくい。
軟X線	気球では観測制約が大きく、観測ロケットの重要性は高い。ただし、多くの衛星計画があるため、観測ロケットは原理実証が主になる傾向がある。
紫外線	スペース観測が必須であるにも関わらず大型の衛星計画がないため、観測ロケットのメリットは大きい。日本ではCLASPなどの実績がある。
可視光線	地上からの観測が可能であるため、ロケットの使用は特殊用途(例:ヌル干渉計の技術実証など)に限られる。
赤外線	拡散光の絶対測光・精密観測を中心にメリットが大きく、需要がある。日本ではCIBERなどの実績がある。
電波	地上観測が可能な波長ではロケットの需要はほとんどない。地上観測が不可能な超低周波でも、ロケット高度では観測環境としては不足である。

表3 天文観測から観測ロケットへの一般的な要求 (私見でまとめたもの)

姿勢制御制度	姿勢制御は、全ての天体観測に必須である。ただし0.3度角精度では応用範囲が限られる。1分角程度まで精度があがると、応用範囲が広がる。太陽観測など、より高い精度を要求する分野もある。
到達高度	気球に対する優位性を明確にするためにも、300km以上は必須。近赤外線波長域では、大気光の原因であるOH光発光層は高度約100kmに存在するため、それより十分高い高度(>200km)での観測が必要である[5]。
搭載装置の質量・体積	現状の質量・体積でも応用範囲は広いと思われる。上空での展開機構があると、X線観測など長焦点距離を必要とする応用分野が広がる。
通信速度	速い通信速度が望ましいが、データレコーダーの搭載により通信速度の遅さを補うこともできる。ただしその場合には装置の回収が必要。
リアルタイムコマンド	強い要求はない。
装置の回収	全ての分野において回収の強い要求がある。特に高度な観測機器ほど、その要求が強い。回収が難しい場合は予備的な原理実証実験にとどまり、本格的な観測は回収可能な海外の観測ロケットに移行する傾向がある。

表 4 観測ロケットの比較

	S-310	S-520	SS-520	NASA 観測ロケット (例 : Black Brant IX)
全長	7 m	8 m	9 m	12.2 m
到達高度	約 200 km	約 300 km	約 800 km	約 300 km
搭載可能質量	50 kg	150 kg	140 kg	450 kg
姿勢制御精度	N/A	±0.3 度	N/A	3 秒角
通信速度	1.6 Mbps *1	1.6 Mbps *1	1.6 Mbps *1	10 Mbps *2
装置の回収	困難	困難	困難	可能

*1 SMT により拡大可能

*2 複数搭載可能

4. まとめ

国内において観測ロケットという手段をもつことは非常に重要である。CIBER や CLASP のように海外ロケットを用いる場合には、どうしても迅速性・機動性に欠けることになる。また、観測ロケットとのインターフェイス調整の観点などから、海外の観測ロケットの利用はハードルが高く、国内の天文学者の観測ロケットによる観測への新規参入を妨げる要因となる。さらに、SPICA などの大型の天文ミッションへの人材供給という観点からも、国内の観測ロケットにて天文ミッションを継続的に実施することは重要になる。

一方で、宇宙研の観測ロケットで天文観測を実施しようとした場合、特に観測ロケットの姿勢制御精度と装置の回収において、要望と現状との間に大きな隔たりが存在する。特に指向観測が必須となる天文観測において、姿勢制御精度の悪さは致命的となる。装置の回収については、通信速度を上げることで十分な観測データが取得できれば、装置の回収なしでも天文観測での需要を開拓できる可能性はある。

参考文献

1. Zemcov et al. (2013), ApJS 207, 31
2. Bock et al. (2013), ApJS 207, 32
3. Tsumura et al. (2013), ApJS 207, 33
4. Korngut et al. (2013), ApJS 207, 34
5. Tsumura et al. (2010), ApJ 719, 394
6. Zemcov et al. (2014), Science 346, 732
7. Arai et al. (2015), ApJ 806, 69
8. NASA Sounding Rockets Program Office (2005), The NASA Sounding Rocket Program Handbook
<http://sites.wff.nasa.gov/code810/files/SRHB.pdf>
9. Krause (2005), 17th ESA Symp. on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research (ESA Special Publication, Vol. 590), 305
10. Lanz et al. (2014), Proc. SPIE 9143, 91433N
11. Murakami et al. (2007), PASJ 59, S369
12. Werner et al. (2004), ApJS 154, 1
13. Narukage et al. (2015), Applied Optics 54, 2080