新気球赤外線望遠鏡計画 IV
–初フライトの概要と次期観測計画–

東大教養　土井靖生
名大理　芝井広、川田光伸、有村成功、伊藤淳、廣岡伸弥
宇宙研　奥田治之、成田正直、中川貴雄、金田英宏、田中昌宏
東大理　巻内慎一郎、森本創、岡村吉彦
通信総研　奥村健市

要旨

我々赤外線天文グループでは、銀河系からの赤外線輻射の広域にわたる詳細な観測の為、新しい気球望遠鏡を開発した。この望遠鏡の初観測フライトを、本年 (平成 10 年) 秋季大気球観測キャンペーンに於いて行った。

フライトは順調に行われ、望遠鏡の姿勢制御システム、コマンド送受信システム等全て正常に動作し、良好な性能を示した。しかしながら赤外線検出器に不具合が生じた為、天文学的なデータを得るには至らなかった。この為フライトを中断し、観測装置をカットした。

カット後、観測装置は太平洋側で海上回収され、与圧容器に収められた搭載電子回路、ジャイロ等の制御装置、及び望遠鏡主鏡等の主要部分は、無傷で回収された。一方赤外線検出器を収めた真空容器は、内部に海水が侵入し、検出器、及び信号読み出し用極低温アンプは損傷を受けた。従ってこれらの装置は、次期観測へ向けて再製作の必要がある。

我々は現在、３ヶ年計画で、インド TATA 研究所との共同研究をスタートさせている。その一環として平成１１年度秋季に、本望遠鏡システムの次期観測フライトを、インドに於いて行う計画である。

1　気球望遠鏡・観測装置概要

観測装置の概要を、図 1及び表 1に示す。

望遠鏡主鏡は、口径 50cm を有し、波長 $100 \sim 200 \mu$m の遠赤外線に対して、$1'$–$2'$の空間分解能を達成する。この望遠鏡に、我々の開発した二次元アレー検出器を搭載し、160 μm 帯の遠赤外線連続波 (continuum) を、高い空間分解能で、且つ 1 フライト中に凡そ 10 度× 10 度のかなり広い領域に渡って、マッピング観測を行う。

観測装置の詳細については、参考文献 [1]、[2] を参照されたい。

Table 1: 新気球望遠鏡の概要

観測装置外寸	1.8 m × 1.6 m × 3.0 m (縦×横×高さ)
観測装置総重量	440 kg (バラスト含まず)
望遠鏡口径	50 cm (軸外し光学系)
検出器	4 × 8 素子 2 次元アレー (真空容器中で、液体ヘリウムにより冷却)
空間分解能	$1.5' \times 1.5'$ (1 ピクセル当り)
観測のねらい	銀河系内星間物質の広域観測 系外銀河の星形成活動の観測
観測対象	160 μm 連続波 :低温ダストの温度、質量決定

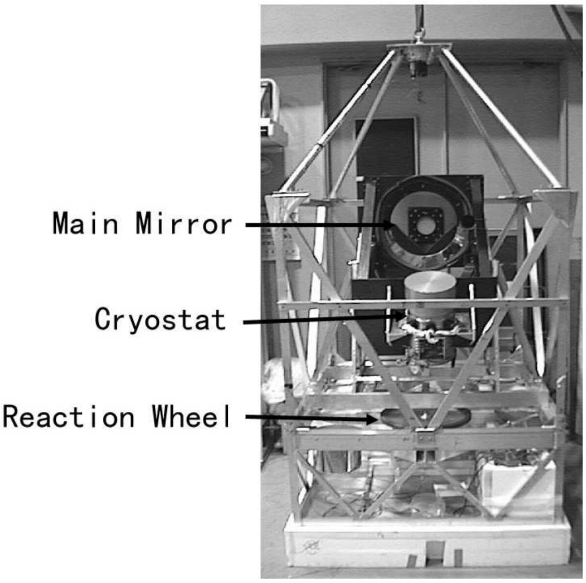

Figure 1: 望遠鏡全体像。軸外し光学系を用いた望遠鏡により、天体からの赤外線を、真空容器 (Cryostat) 中に収めた赤外線検出器へと導く。望遠鏡の方位角は、光ファイバージャイロで検知し、ゴンドラ下部に取り付けたリアクションホイールで制御する。一方高度角は、ゴンドラ内で望遠鏡の仰角を変更する事により制御する。

2 初フライトの概要

この新たに開発した赤外線望遠鏡の初フライトを、本年 (平成１０年) ９月６日に、三陸大気球観測所より試みた。

放球は１７時３７分に行われた。その後気球は順調に上昇し、１９時３０分に、高度３５ km でレベルフライトに入った。これを受けて PI 側も望遠鏡の姿勢制御を開始し、観測に入った。コマンド/データ送受信、及び姿勢制御系は良好に動作し、望遠鏡システムが予想された性能を達成している事が確認された (有村他、本集録参照)。

一方、赤外線観測装置には、この時点で幾つかの不具合が生じている事が判明した。第一に、赤外線検出器が予想感度を達成しておらず、天体からの赤外線を検出する事が困難である事が判明した。更に、検出器をドライブする回路の電源電圧が異常な低下を示し、放球から３時間を経過した時点で、観測を続行することが不可能となった。

この為当初は翌朝まで行う予定であったフライト計画を変更し、同日２１時に気球から観測装置をカットした。観測装置はカット後３０分で三陸沖約３０ km の海上に着水し、翌日回収された。

3 不具合の詳細

3.1 検出器の感度劣化

フライト中に月を観測した際のシグナルを、図 2に示す。このシグナルの大きさから検出器感度を、またその相対値としてバックグラウンドシグナルの強度を求める。

この解析の結果、検出器感度はフライト前の予想のおよそ 1/6 であり、大きく劣化していた事が判明した。

またバックグラウンドレベルは、望遠鏡の輻射能率に換算しておよそ $40 \sim 50\%$に相当し、フライト前の予想値 (10%以下) を、大きく上回っていた事が判明した。このバックグラウンドレベルは、望遠鏡の高

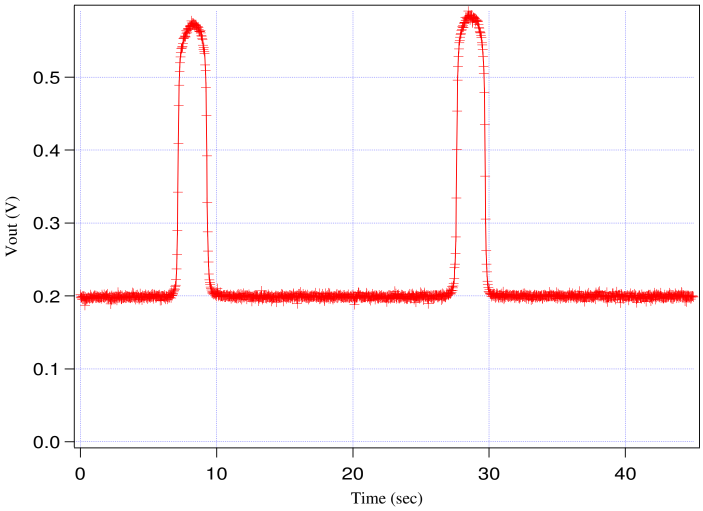

Figure 2: 月を観測した際のシグナル一例。方位角方向に往復スキャンを行い、月を2回横切った際の出力。立て軸は検出器からの出力信号の電圧を示す。

度角に僅かに依存するが、これは地球大気からの輻射成分として無矛盾である。従ってバックグラウンドの超過成分の殆どは、望遠鏡自身の常温部分からの輻射と考えられる。

この性能劣化の原因は幾つか考えられるが、感度劣化及びバックグラウンドレベルの増大の双方を最も自然に説明するのは、クライオスタット真空窓の結露である。

現在他の可能性も調査中ではあるが、現段階では、この結露が検出器性能劣化の主原因であったと考える。

3.2 検出器電源電圧の低下

リチウム電池を用いた電源電圧の時間推移を、図3に示す。横軸の時刻17時37分の気球放球より、外気温の低下に伴って電源電圧は低下している。本来この電圧は、レベルフライトに入る前後には安定する筈であり、実際−側の電圧はこの時点で安定している。しかし+側電圧はこの後も下降を続け、結局午後9時前の時点で、回路をドライブするのに最低限必要な+5 V程度の電圧を維持出来なくなり、観測を断念する直接の原因となった。

この電池は容量2 Ahに対し電流$<$ 70 mAの条件で使用しており、従って持ち時間30時間程度を期待していた。負側電源もほぼ同じ条件(電流$<$ 50 mA)で使用しているが、こちらは観測終了までの時点で特に不具合の兆候は認められなかった。

不具合の原因は、1) 電池自身の不良、2) 回路の不具合による過大電流の負荷、の2つが考えられる。

1) 電池自身の不良については、観測後電池の納入業者に事故解析を依頼したが、不良箇所は発見されなかった。

2) 回路の不具合については、フライト中のデータからは、全ての回路が正常に動作しており、過大電流等の兆候は見出せない。また回収した回路についても、海水中で電流が流れた為の電解腐食によるダメージが若干みられる他は電流値、機能共正常に動作している。従って、残念ながら現在までに不良箇所は特定できていない。今後当該回路の冷却(再)試験、予備電池の冷却試験等により、原因の追求を図る予定である。

4 回収の状況

装置回収班は、放球翌日の7日朝宮古港より回収に向かい、同日17時30分に、洋上での回収作業を終了した。

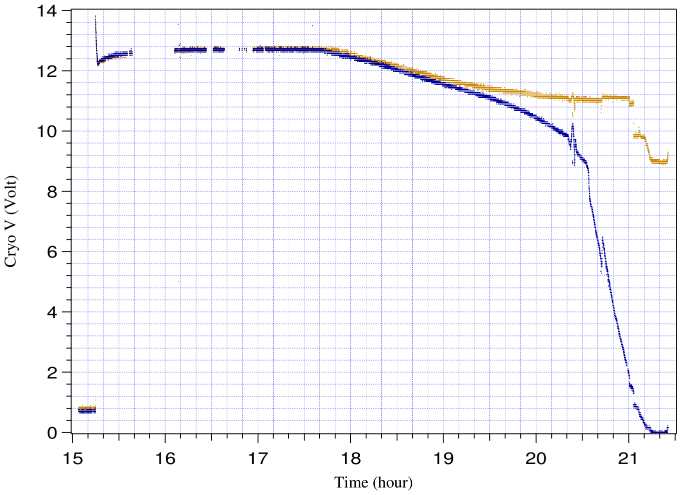

Figure 3: フライト時の Cryostat 電源電圧の推移。濃いデータ点が + 側電源電圧、薄いデータ点が- 側電源電圧。

回収後、実験場にて観測装置を解体し、各部の状況をチェック、その後相模原、名古屋へ持ち帰っての電子回路の動作チェック等を行った。

その結果、与圧容器に収められた搭載電子回路、ジャイロ等の制御装置、及び望遠鏡主鏡等の主要部分は、無傷で回収され、若干の補修 (容器外壁のコネクタ類の交換、鏡の再蒸着等) を行うだけで再利用可能である事を確認した。従って、回路の防水、観測中の回路全体の保温、及び発熱する IC チップの放熱に、与圧容器が有効である事が実証された。

一方赤外線検出器を収めた真空容器は、内部に海水が侵入し、検出器及び信号読み出し用極低温アンプは損傷を受けた。従ってこれらの装置は、次期観測へ向けて再製作の必要がある。

5 次期観測計画

現在我々は 3 ヶ年計画で、インド TATA 研究所との共同研究をスタートさせている。

これは、口径 1 m の気球望遠鏡を有し、赤外線天文学の観測的研究に継続的な成果をあげているインド側のグループと、低背景放射望遠鏡、赤外線多素子検出器、赤外線分光装置等にノウハウのある我々のグループが連係しながら観測を行う事で、学問的成果をより深いものにしようとする計画である。

現在、我々のグループで開発し、BICE 計画に用いて大きな成果をあげた赤外線分光装置 (文献 [3] 参照) をインド側の気球望遠鏡に搭載し、観測飛翔を行う為の最終準備中である。この観測は、本年 (平成１０年) １２月末に、インドに於いて行われる予定である。

一方我々の気球望遠鏡も、インド側のサポートにより、インドに於いて観測飛翔を行う計画である。現在望遠鏡システムは必要部分の改修中である。この作業の後、平成１１年度秋季に、インドに於いて次期観測フライトを行う計画である。

参考文献

[1] 土井他、平成 9 年度大気球シンポジウム集録、pp.87–90

[2] Doi, Y. et.al., 1998, proceedings of the 32nd COSPAR Scientific Assembly, submitted to Advances in Space Research.

[3] 中川他、平成 8 年度大気球シンポジウム集録、pp.48–50