気球赤外線望遠鏡観測計画

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

我々は、インドとの共同研究により、インドに於いて気球観測を行う計画を進めている。計画には、我々とインド側の各々が開発した 2 台の気球望遠鏡を用いる。その双方に我々の開発した遠赤外線観測装置を搭載し、星形成領域の星間物質の状況を多角的に捕える事を目指す。この計画について、その詳細及び進行状況を報告する。

1　望遠鏡その 1: 日本製気球望遠鏡の概要

1.1　気球望遠鏡

我々は、本計画の為に、新しい気球望遠鏡を開発した。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 50 cm を有し、波長 100–200 μm の遠赤外線に対して、$1'$–$2'$の空間分解能を達成する。

主鏡は軸外し放物面鏡であり、且つその主焦点に検出器を置く事により、望遠鏡自身からの赤外線輻射を最小限に抑え (輻射能率 10%以下)、検出感度の向上を図る。

望遠鏡の姿勢制御は、高度-方位制御により行なう。ゴンドラ全体を回転させることにより方位角を、ゴンドラの中で望遠鏡を回転させることにより高度角を、それぞれコントロールする。

ゴンドラの回転角の検出は、3 軸光ファイバージャイロを用いて行なう。検出した回転角をオンボード CPU により処理し、その結果をリアクションホイールに伝え、回転角の制御を行なう。この姿勢制御系は、安定精度 $10''$角程度の、高い制御能力を有している。またオンボードプログラムの書き換えのみにより、幅広い姿勢制御パラメータを実現でき、従って様々な検出機器を搭載しての観測に適用可能である。

以上気球望遠鏡の詳細については、参考文献 [1]、[2]、[3] を参照されたい。

1.2　遠赤外線 2 次元アレー検出器

前述の気球望遠鏡に、我々の開発した二次元アレー検出器 (図 2) を搭載する。現在遠赤外線検出器は 2 次元アレー開発の時代に入っているが、中でも我々の検出器は、その素子数、検出性能共、現段階で世界最高の能力を有している。検出器の詳細については、参考文献 [4] を参照されたい。

この検出器を上記気球望遠鏡に適用し、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 $\times$ 10 度のかなり広い領域に渡って、マッピング観測する。

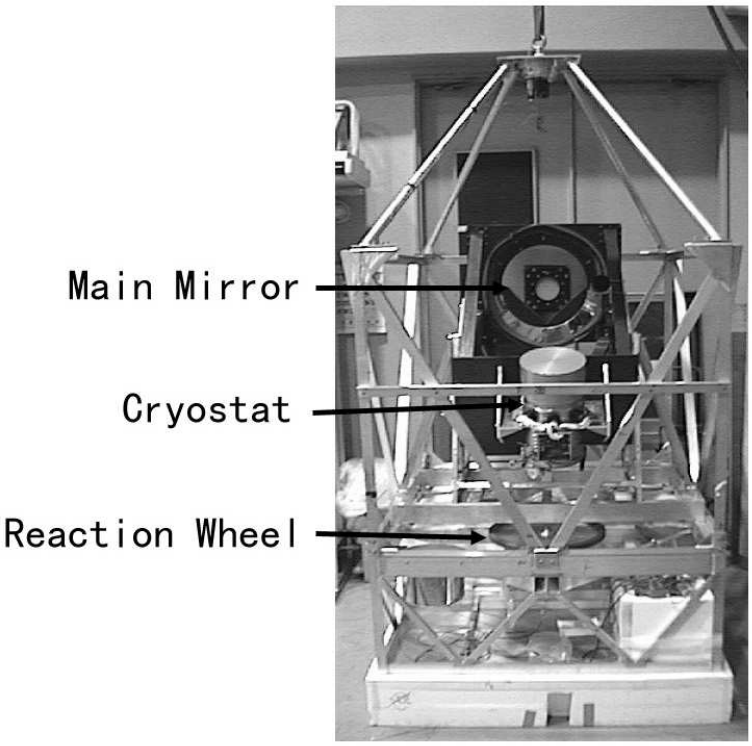

Figure 1: 日本製気球望遠鏡全体像。軸外し光学系を用いた望遠鏡により、天体からの赤外線を、真空容器 (Cryostat) 中に収めた赤外線検出器へと導く。望遠鏡の方位角は、光ファイバージャイロで検知し、ゴンドラ下部に取り付けたリアクションホイールで制御する。一方高度角は、ゴンドラ内で望遠鏡の仰角を変更する事により制御する。

1.3 初フライトの概要

この望遠鏡の初フライトを、'98 年 9 月に、宇宙科学研究所三陸大気球観測所より試みた。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、残念ながら天文学的なデータを得るには至らなかった。以上の初フライトの詳細は、文献 [5] を参照されたい。

2 望遠鏡その 2: インド製気球望遠鏡の概要

我々の共同研究グループであるインド TATA 研究所の赤外グループでは、口径 1m の気球望遠鏡を用い、従来より遠赤外線観測を行なって来ている。この気球望遠鏡の概要を、図 3及び表 2に示す。

この望遠鏡に、我々が以前 BICE (Balloon-borne Carbon Explorer: 文献 [6]) 望遠鏡に搭載して銀河面 [C II] 輝線サーベイを行なってきた分光器を搭載し、[C II] 輝線の高空間分解能の観測を行なう。

この観測は、同様の空間分解能の観測を行なってきた KAO (Kuiper Airborne Observatory) による観測 (文献 [7]) と比較して、検出限界で 2 倍以上、マッピング領域で 10 倍以上の向上が見

Table 1: 日本製気球望遠鏡の概要

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)
姿勢制御方式	デジタル PID 制御 (安定精度±10″角程度)
検出器	Stressed Ge:Ga 4×4 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
検出限界	10 Jy 程度 (1 秒積分、1σ)
観測範囲	20 平方度/時間程度の掃天が可能

込まれる。

分光器の詳細については、文献 [8] を参照されたい。

3 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。

この計画は、前述の 2 台の望遠鏡を用いて測光、分光観測を連係しながら行なう事により、短期間で深い学問的成果を挙げようとするものである。

今後 3 年間の間、各々の望遠鏡に付き年 $1 \sim 2$ 回の観測飛翔を計画している。

インド側の気球に我々の観測装置を搭載した初フライトは、'99 年 2 月末を予定している。現在我々のグループから数名が渡印しており、天候が好転し次第放球を行なう予定である。

一方日本製の気球望遠鏡も、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。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、'99 年 11 月に、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] 日本製望遠鏡の詳細については... Doi, Y. et.al., "A New Japanese Infrared Balloon Telescope"1998, proceedings of the 32nd COSPAR Scientific Assembly, submitted to Advances in Space Research, http://grape.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/Balloon/COSPAR.ps

[2] 日本製望遠鏡の詳細を日本語で読みたい人は... 土井他、平成 9 年度大気球シンポジウム集録、宇宙科学研究所、pp.87–90, http://grape.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/Balloon/proc97/proc97.html

[3] 日本製望遠鏡の制御システムの詳細については... 有村 1999, 修士論文、名古屋大学

[4]2 次元アレー検出器の詳細については... Doi, Y. et.al., "Compact Two-dimensional Array of Stressed Ge:Ga Detectors" 1999, proceedings of ISO Detector Workshop, accepted for

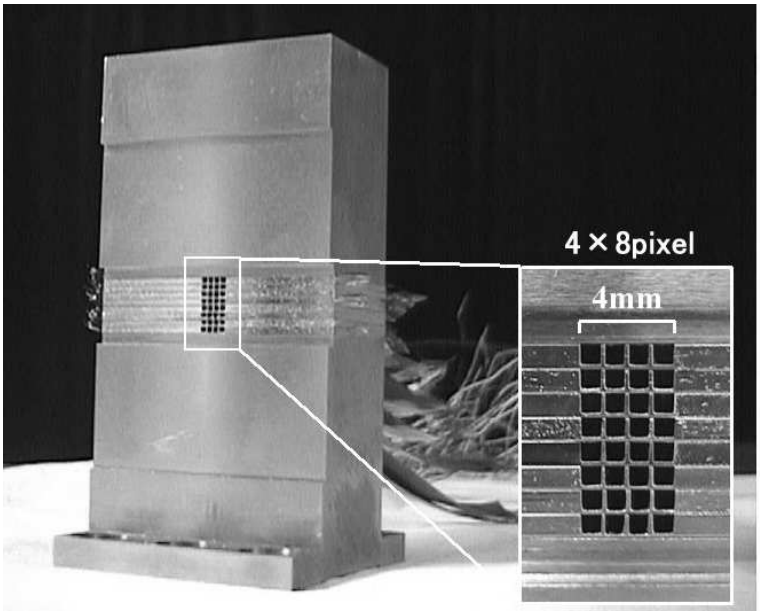

Figure 2: 4×8 素子圧縮型 Ge:Ga 検出器アレー。波長 100–200 μm に感度を有する。現段階で世界最多素子、最高検出感度の検出器。

publication in Experimental Astronomy,
http://grape.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/Detector/proceedings/proceedings.ps

[5] 日本製望遠鏡の初フライトの顛末については... 土井他、平成１０年度大気球シンポジウム集録、宇宙科学研究所、in press, http://grape.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/Balloon/proc98/proc98.ps

[6]BICE 望遠鏡とその [C Ⅱ] 輝線観測の詳細については... Nakagawa, T. et.al., "Far-Infrared [CII] Line Survey Observations of the Galactic Plane", 1998, ApJS, 115, pp259–269

[7]KAO による [C Ⅱ] 輝線観測の詳細については... Stacey, G. J. etl.al., "The 158 micron forbidden C II line - A measure of global star formation activity in galaxies", 1991, ApJ, 373, 423

[8] インド製望遠鏡に搭載する分光器については... 中川他、平成８年度大気球シンポジウム集録、宇宙科学研究所、pp.48–50

Figure 3: インド製気球望遠鏡の全体像。カセグレン光学系を採用しており、副鏡による空間チョッピングが可能。望遠鏡の方位角は、ゴンドラ最上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。

Table 2: 望遠鏡の概要

観測装置外寸	1.5 m × 1.5 m × 3.3 m (縦×横×高さ)
観測装置総重量	860 kg (バラスト含まず)
望遠鏡口径	1 m (カセグレン光学系)
検出器	Stressed Ge:Ga 検出器
	(真空容器中で、液体ヘリウムにより冷却)
分光器	ISAS ファブリ ・ペロー分光器
	波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda = 1800$
空間分解能	$1.4'$
観測のねらい	銀河系内星間ガスの詳細分光観測
	系外銀河の星形成活動の観測
観測対象	[C II] 158 μm 輝線 :星間ガスのエネルギー収支の解明
検出限界	3×10^{-5} ergs cm^{-2}s^{-1}sr^{-1}(1σ)
観測範囲	$30' \times 30'$/時間程度の掃天が可能