

南極におけるトランジット観測用赤外線カメラの開発と性能評価

中堀 日光 (東北大学大学院 理学研究科)

Abstract

南極で系外惑星のトランジット観測や CIB のなど観測を行いたいという背景のもと、赤外線カメラ "tonic" の開発と性能評価を行ってきた。南極である理由は、優れたシーイングや晴天率、低水蒸気量など様々な好条件が揃っているからである。本研究では、赤外線カメラ (と 25cm 望遠鏡) を南極に持って行くことを想定しカメラの開発を行っている。行ってきたことは以下のとおりである。1. 真空引き・冷却実験 2. カメラ駆動用ボードの作製 3. 赤外線カメラの駆動実験。1 は赤外線観測するのでカメラ自身の輻射を減らすために行う。2 では既存の基盤を複製するという形で作製した。故障時の代替機になり、さらに故障の原因を解明するのも役に立つ。3 では実際に画像を撮り、出力値を見ることによってカメラが正しく動いているのかを確認した。

1 Introduction

近年、系外惑星の研究は天体物理学の中で急速に発達し、かつ最も興味深いものであると言っても過言ではない。この分野が近年発達してきたのには主に 2 つの理由が考えられる。1 つ目は Kepler が 4 年間のミッションを終え、約 15 万の星のライトカーブを精度良く得ることができ、そのうち約 2000 個が系外惑星であると推測されたことにより、系外惑星の研究に革命を与えたことである。2 つ目はハッブル宇宙望遠鏡 (HST) やスピッツァー宇宙望遠鏡が、系外惑星の大気構成を調査する方法としてトランジット観測が有用であると証明したことである。

系外惑星を発見するために、これまでに様々な方法が取られてきたが、有効な方法として視線速度法 (ドップラーシフト法) と先に述べたトランジット法の 2 つがある。視線速度法でも惑星の公転周期や軌道長半径、離心率などがわかり、惑星の様々な情報が得られる。トランジット法では惑星の公転軌道傾斜角や主星との半径比、周縁減光などがわかる上、分光観測と組み合わせると惑星の大気組成や進化・歴史などもわかる。そしてこの 2 つの方法を組み合わせると、惑星の真の質量、密度、半径などがわかり系外惑星の研究に更に役に立つ。このようにして得られた系外惑星の情報を元に、生命居住可能領域 (ハビタブルゾーン) にある系外惑星の研究を行い、生命の痕跡を探索するという研究に向かっていくのであ

る。

トランジット観測を行うにあたり高い精度が必要となる。観測機器の誤差など仕方がない部分もあるができるだけ誤差を無くすために、大気のバックグラウンドが低く、水蒸気量も少ない、さらには良好なシーイングや高い晴天率など観測条件の優れた南極で観測を行うことを視野に入れる。南極においてトランジット観測を行うために赤外線カメラ "tonic" の開発と性能評価を行う。

2 Instruments

今回使用した冷却赤外線カメラには 256×256 の InSb が使われ、4 つのフィルター (J, H, K, Pa) がある。

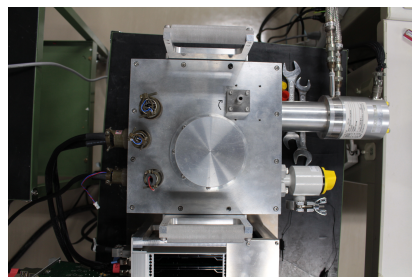


図 1: tonic

またカメラ駆動用のボードは以下の 7 種類である。

1. Power Receiver
電源からの電圧を変換し、各ボードに電源を供給する
2. FET
検出器のすぐそばにある FET スイッチを動かす
3. BIAS
出力値が負の値を示さないように電圧を加える
4. CLOCK
検出器からの信号を読み込むためのパルス信号を送る
5. AMP(Amplifier)
検出器からの信号電圧とリファレンス電圧の作動増幅を行う
6. ADC(Analog-to-Digital Converter)
AMP からのアナログ信号をデジタル信号に変換する
7. PCIF(PhotoCoupler Isolation Format)
コンピュータと検出器を電氣的に絶縁しながら信号を転送する

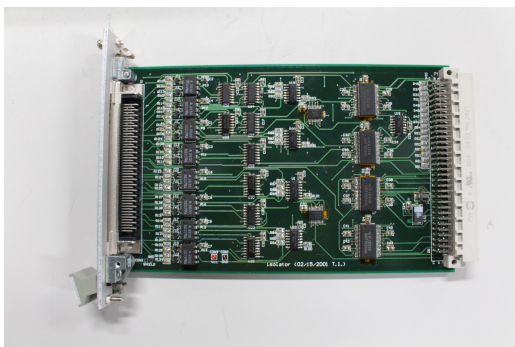


図 2: PCIF のボード

3 Experiments

今回行った実験は真空引き・冷却実験とボードの駆動実験である。

3.1 Vacuum drawing and Cooling

赤外線波長において観測するため tonic 自身内からの輻射をできる限り減らしたいという理由から冷却する。冷却するにあたり、空気があると対流に依る熱伝導のせいで十分に冷却されないため真空引きを行う。 $\sim 10^{-4}$ mbar(1atm = 1013.25mbar) で対流が効かなくなるとされているのでこの値が目標値となるが、実際には $\sim 10^{-7}$ mbar まで下がった。この値は先に述べたように冷却が十分に可能な値である。そこで冷却を開始したが、冷却の目標値は検出器先端が 35K、ラジエーションシールドが 100K である。検出器先端とラジエーションシールドについては図 3 を参照していただきたい。実測値が ~ 28 K、 ~ 80 K であるので十分冷えていることが確認された。

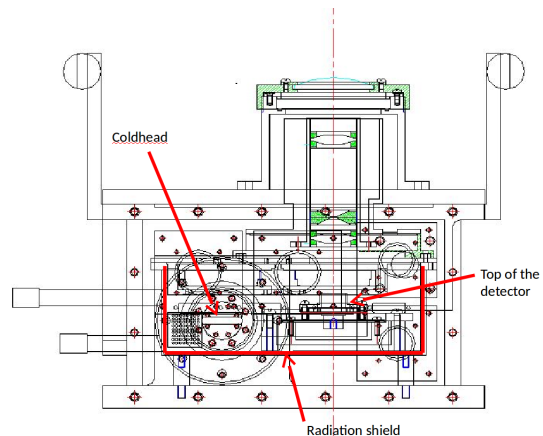


図 3: tonic の断面図

3.2 Check each board

既存のボードを複製するという形で、各ボードに抵抗やコンデンサなどの部品のハンダ付けを最初から行った。複製を行ったのは、片方が故障した時に代替機となる上に、故障の原因理解を早めることができるからである。

各ボードが正しく動いているかを確認したあと、実際にはんだごての撮像を行った(図 4)。露光時間を伸ばしてもカウント値が変化しないと言った重大な問題が起こったため、いろいろと実験を繰り返し原因究明に尽力した。原因は読み出しの際のリセッ

トができていないことに依るものであったが、その問題は解消された。(原因究明の過程については長くなってしまうのでここでは割愛させていただく。)

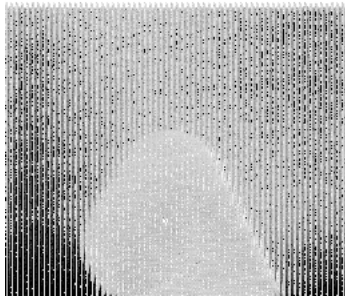


図 4: はんだごての先端

4 Future Work

現在は黒体炉を用いてこの検出器の量子効率を調べている。

量子効率がわかったら実験室でできることは一通り行ったことになるので、実際に研究棟の屋上にある 51cm 望遠鏡で天体を撮像して、正しく動いているかを確認する。また得られたデータの解析を行い、この検出器の性能を評価していく。最終的にはタイトル通りこのカメラを南極に持って行きトランジット観測などを行い今後の天文学に貢献していきたい。このカメラを取り付ける望遠鏡と架台はすでにできており(図 5)、望遠鏡を動かすプログラムなども準備が整っている。ただ、南極と同程度の低温環境での動作テストは行っていない。というのも大きな架台を冷やす実験装置がないからであり、これは今後の課題となる。

Acknowledgement

基礎物理学研究所(研究会番号: YITP-W-15-04)及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

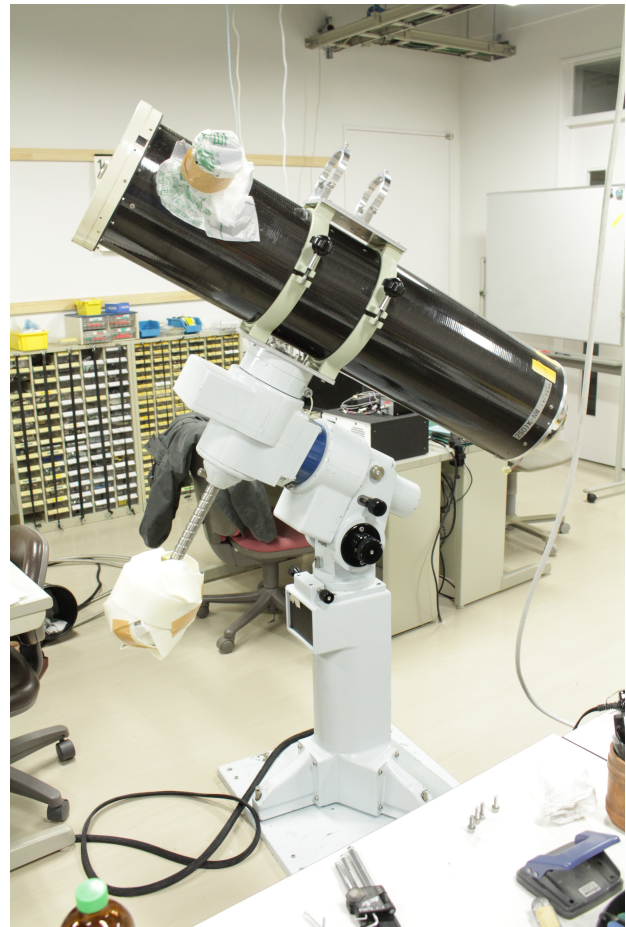


図 5: 南極に持っていく予定の 25cm 望遠鏡と架台

Reference

Songhu Wang, Hui Zhang, Ji-Lin Zhou, et al. 2014, 2014ApJS, 211.26W

Charles Beichman, Bjoern Benneke, Heather Knutson, et al. 2014, 2014PASP, 126.1134B

Noguchi Eriko. 2015, 東北大学修士論文