



近赤外多天体分光カメラSWIMS用検出器HAWAII-2RG評価試験

西嶋颯哉*、館内謙、本原顕太郎、小西真広、高橋英則、北川祐太郎、加藤夏子(東京大学天文センター)、他TAOメンバー

*Email: nishijima@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

1.Introduction

TAO6.5m望遠鏡は、東京大学がチリ・チャナトール山頂に建設を予定している赤外線望遠鏡です。私たちは、TAOの第1期近赤外観測装置としてSWIMS(Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph)を開発中です(Fig.1)。SWIMSの特長は、0.9-1.4 μm 、1.4-2.5 μm の2色を同時に撮像、多天体分光、面分光することができる点です。SWIMSの検出器には、Teledyne Scientific & Imaging社のHgCdTeハイブリッドアレイ検出器、HAWAII-2RGを使用します(Table 1)。HAWAII-2RGの読み出しシステムは、Fig.2のように構成します。

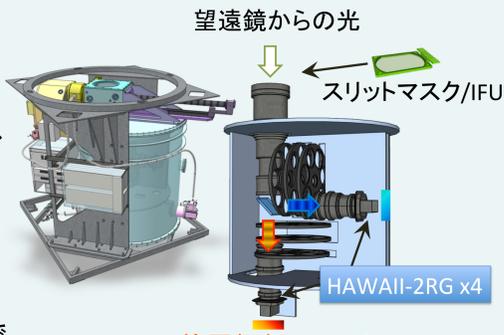


Fig.1: 装置概観イラスト



Fig.2: 検出器読み出しシステム

SIDECAR ASICはAD変換とクロック生成、JADE2 CardはPCへのデータ転送などを担う。読み出しにはTeledyne提供の専用ソフトウェアを使用。

項目	値
ピクセル数	2048x2048
ピクセルサイズ	18 μm
参照ピクセル数	4x4x2044
半導体結晶	HgCdTe
カットオフ波長	2.5 μm

Table1: HAWAII-2RGの仕様

2.Setup

検出器は、デュワーを液体窒素冷却することで80K程度の平衡状態に保って駆動します。Fluxの入射は、デュワーの外部から黒体炉を見せることによって行います(Fig.4)。また、検出器の周りをRadiation Shieldで遮蔽してフィルターをつけることによって波長を制限します(Fig.3)。

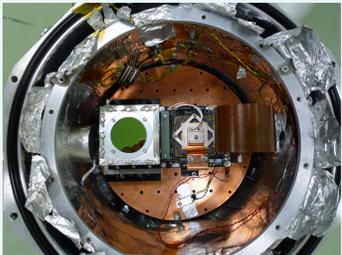


Fig.3: デュワー内部のセットアップ
左から、検出器Radiation Shield Box(緑色の円形の物体はPaβフィルタ(1.292 μm))、SIDE CAR ASIC、JADE2 Card(常温常圧部)と接続するフラットケーブル。



Fig.4: 黒体炉とデュワーの配置
黒体炉からの光は矢印の経路を辿ってデュワー内に入射する。デュワーの窓材にはガラスを使用。

3.HAWAII-2RGの概要

検出器を評価する上で重要な点をまとめます。

3.1. Reference Pixel

2Kx2Kピクセルのうち、4辺それぞれに4pixずつ配置されています(Fig.5)。

- ✓ 光は検出しない
- ✓ 暗電流はのらない
- ✓ 読み出しノイズはのる

で、理想的には出力カウントが0です。CDSモードとFowlerモードではResultフレームを作る際にソフトウェア上で①CHごとのゼロ点補正、②サンプル電圧の変動補正がなされます。

3.2. 多チャンネルoutput

- PreAmpと16bit出力のAD変換を最大32CHで並列に処理することが可能
- frame内でCHは短冊状に割り振られる(Fig.6)
- 設定により読み出し時間が変化する(Table 2)

Outputモード	読み出し時間	ch #
1 Output	42s	#7
4 Output	10.6s	#7,#15,#23,#31
32 Output	1.36s	#0 - #31

Table2: Outputモード

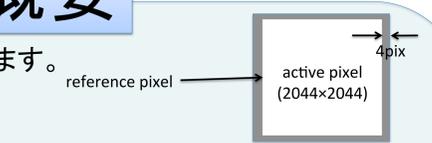


Fig.5: Reference Pixelの配置

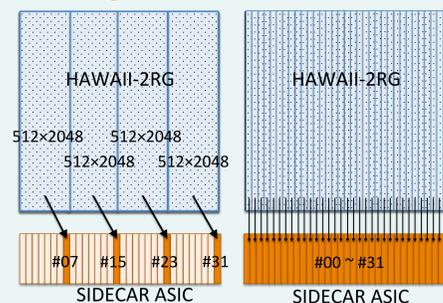


Fig.6: 多チャンネルoutputの描像
(左) Output=4の場合。4CHで処理される
(右) Output=32の場合。32CHで処理される

3.3. PreAmp Gain

- PreAmp: AD変換前に、ピクセルからの出力電圧とサンプル電圧の電位差を増幅
- 増幅率は16段階(Table 3)

設定	ゲイン	ゲイン[dB]
#0	0.70711	-3.01
#2	1.41421	3.01
#4	2.00000	6.02
#15	22.6274	27.09

Table3: ゲイン設定

4.Methods & Results

4.1. 読み出しノイズ

Reference Pixelを用いてCDS読み出しノイズ $\sigma_{\text{CDS}}[\text{e-}]$ を算出しました。ただし、ADU-エレクトロン変換係数 $\alpha[\text{e-}/\text{ADU}]$ はまだ完了していないので、検出器・ASICの仕様値から予想される $\alpha=3.81\text{e-}/\text{ADU}$ を使用しました。

Output = 1	Output = 4	Output = 32
#7 19.0 \pm 0.3	#7 19.0 \pm 0.3	#7 18.7 \pm 0.8
	#15 20.9 \pm 0.3	#15 22 \pm 1
	#23 22.5 \pm 0.4	#23 22 \pm 1
	#31 20.2 \pm 0.4	#31 20.2 \pm 0.8
		#22 18.3 \pm 0.8 (min)
		#10 26.3 \pm 0.8 (max)

Table4: CDS読み出しノイズ[e-]の測定値

- 同一CHではOutput設定に関わらずノイズ一定
- CH間に最大~40%のノイズ差あり

市販のUSBアイソレータによってノイズが軽減されるかを調べました。

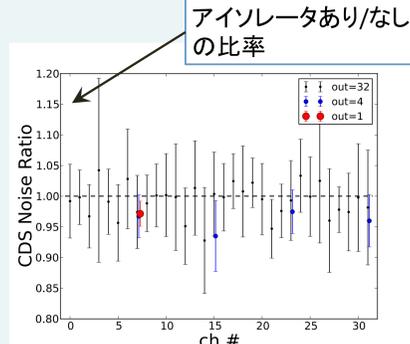


Fig.7: アイソレータによるノイズ軽減

- ノイズ軽減は有意ではあるものの、わずか(~3%)
- 読み出しノイズへのPCの寄与は大きくない

検出器を変えずにASICだけを変えたとき、CDS読み出しノイズはどう変化するかを調べました。

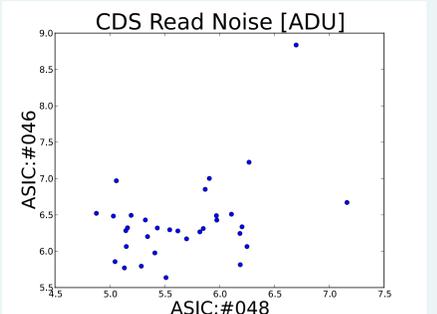


Fig.8: 読み出しノイズのASIC依存性

- 同じpixelであっても、ASICを変えたときのノイズはあまり相関しない
- 読み出しノイズへの寄与はASICが大部分

4.2. リニアリティ

Ramp Samplingのデータから、検出器のリニアリティを評価しました。x枚目のsamplingの出力カウントをy[ADU]としてx-yプロットし、次のように処理します。
① Full Wellは共通と仮定してカウントy[ADU]を[e-]に変換
② y[e-]のバイアスレベルを引いて原点揃え
このとき、x軸の値には物理的な意味はなく、積分時間や入射光子数に比例する値になります。

結果がFig.9です。また、最初の3frameでは出力が完全に線形であると仮定し、その値からのズレが1%を超えた点を1%点としてe-数と飽和電子数との割合をTable 5に示します。

	1%点	% well
Up The Ramp	23,900e-	35.7%

Table5: 線形保証範囲

検出器ごとの特性の違いなどについても今後評価をしていく予定です。

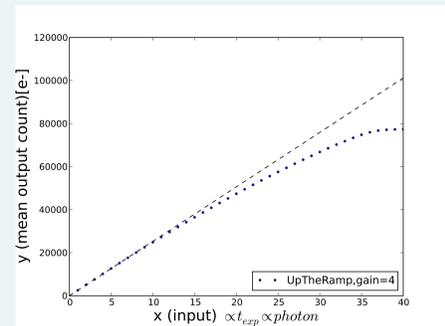


Fig.9: リニアリティの測定結果

4.3. 現時点での問題点: ADU-エレクトロン変換係数(コンバージョンファクター)

黒体炉による安定光源を使って、ピクセルごとのカウント平均値m[ADU]と標準偏差 $\sigma[\text{ADU}]$ の関係からコンバージョンファクター $\alpha[\text{e-}/\text{ADU}]$ を算出します。算出結果は、 $\alpha=7.70\pm 0.07\text{e-}/\text{ADU}$ (誤差はch間誤差)になりましたが、仕様値は $\alpha=3.81\text{e-}/\text{ADU}$ で、2倍の差があるという結果になりました。実験値を受け入れるとwell深さなどが仕様値の2倍になり非現実的であるため、実験・解析方法に何らかの問題があるものとみて現在原因を追究中です。

5.Summary & Future works

SWIMSに搭載する検出器HAWAII-2RGの評価試験を行い、次の結果を得ました。

- 読み出しノイズは~20e-、読み出しCHによって最大~40%のノイズ差あり
 - リニアリティの1%保証範囲は~24,000e-、wellの36%
- 今後の予定は、以下のとおりです。

2013	2014	2015
検出器評価試験のつづき 同時駆動試験 新デュワーでの精密試験	SWIMSデュワーの冷却試験 SWIMSデュワーへの検出器インストール 制御ソフト整備 全体のパフォーマンス試験	ハワイへ搬送 Subaru取り付け ファーストライト