

近赤外多天体分光カメラ SWIMS 検出器システムの開発

藤堂 颯哉 (東京大学大学院理学系研究科 天文学教育研究センター)

Abstract

我々は、近赤外多天体分光カメラ SWIMS を東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画で建設中の 6.5m 光赤外線望遠鏡第 1 期観測装置として開発中である。SWIMS は、(i) $\phi 9'$ の広視野を (ii) 0.9–2.5 μm の近赤外の全ての波長域に渡って同時に (iii) 撮像、多天体分光、または面分光することができる、という特長をもつ。SWIMS では、Teledyne Imaging Sensors 社の検出器 HAWAII-2RG (HgCdTe, 2K \times 2K ピクセル) を 4 台 (TAO 搭載時には 8 台) 使用する。このように複数台の HAWAII-2RG を同時に駆動するような大型装置は国内では例がなく、複数台の PC を組み込んだ同時駆動ソフトウェアシステムや読み出し回路間のケーブルなど、ソフトからハードまで多様な要素開発を行った。また、読み出しノイズなどの検出器性能についてもノイズの成分分離などの独自の手法によって詳細に評価した。今後は、検出器読み出しシステムを実際に SWIMS に組み込んだでの試験を行い、2015 年度にはすばる望遠鏡での試験観測を予定している。

1 Introduction

東京大学天文学教育研究センターでは、東京大学アタカマ天文台 (the University of Tokyo Atacama Observatory, TAO) 計画を推進しており、南米チリ・アタカマ高地にあるチャノントール山頂 (標高 5,640 m) に世界最高標高にある天文台として TAO6.5m 望遠鏡を建設中である (Y. Yoshii et al. (2002)). 我々は、2 色同時広視野近赤外多天体分光カメラ (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph, SWIMS) を TAO の第 1 期近赤外装置として開発中である。SWIMS の概要を図 1 に示す。SWIMS は、 $\phi 9.6'$ の広い視野を持ち、0.9–2.5 μm の近赤外の全ての波長域を 0.9–1.4 μm の blue アームと 1.4–2.5 μm の red アームの 2 色に分けることで同時に撮像、多天体分光、さらには面分光することができる、という特長をもつ (M. Konishi et al. (2012)). 我々は、東京都三鷹市で SWIMS の開発作業を行い、すばる望遠鏡での試験観測と初期科学観測の後、TAO 望遠鏡に搭載する予定である。

SWIMS には、Teledyne Imaging Sensors (TIS) 社の近赤外アレイ型検出器 HAWAII-2RG (以下、H2RG) を 4 台 (各アームに 2 台、TAO 搭載時は 8 台) 使用する。我々の使用する H2RG は 2.5 μm カットオフ、2K \times 2K ピクセルであり、専用読み出し回路の SIDECAR ASIC と通信用ボードの JADE2 Card

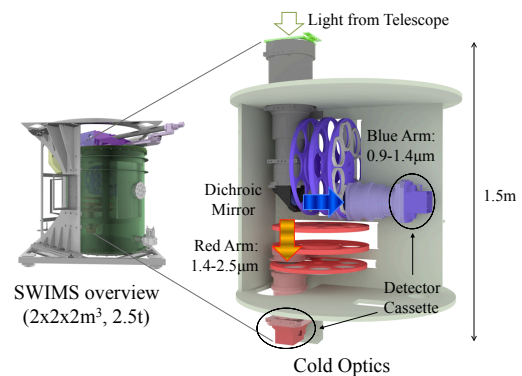


図 1: SWIMS の概要。望遠鏡からの入射光はダイクロミックミラーにより 2 つのアームに分けられる。検出器は各アームの端にあるカセット内に納められる。

を使って駆動する。これらの読み出し回路も全て TIS 社が製造したものである。

2 Detector Readout System

SWIMS の検出器読み出しシステムは、図 2 のように構成する。冷却光学系は機械式冷却によって 80 K に保持される。H2RG1 台につき SIDECAR ASIC、JADE2 Card それぞれ 1 台で駆動・読み出しを行う。H2RG は、JADE2 Card と USB2.0 ケーブルで接続

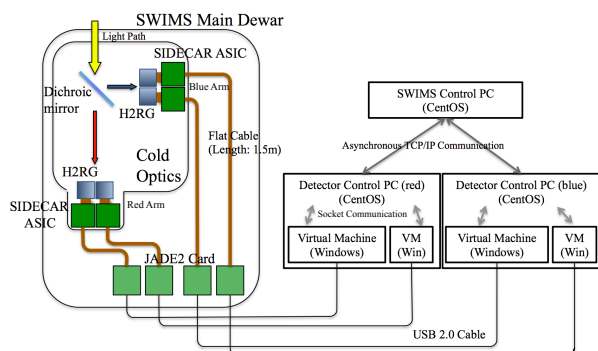


図 2: 検出器読み出しシステムの概要。PC 3 台で検出器 4 台を制御するシステムを構成する。

された Linux PC 内で動いている Windows の仮想マシンから制御する。各仮想マシンが H2RG 1 台の制御を担うため、Linux PC 2 台中に 4 台の仮想マシンを用意する。H2RG が各アーム 4 台の 8 台であっても仮想マシンの台数を増やせばよいだけであり、拡張が非常に容易である。

仮想マシン上で走る検出器駆動ソフトウェアは TIS 社に提供されたものを使用する。検出器読み出しシステムを構成するためには、この TIS 社のパッケージを SWIMS 全体の制御システムに組み込むソフトウェアが必要である。ソフトウェアは全て python で構成する。仮想マシンへのコマンド送信・ステータス取得にはソケット通信を、SWIMS 全体の制御 PC と検出器制御 Linux PC 間の通信には非同期型 TCP/IP 通信を採用する。非同期通信により、画像取得コマンドが走っている途中で画像取得を中止するなどの柔軟な運用が可能になる。

SWIMS のデューワーは巨大 (~ 2m) であるため、SIDE CAR ASIC と JADE2 Card 間は TIS 社の製造したものでなく独自に開発した長さ 1.5 m のフラットケーブルを用いて接続する。このフラットケーブルは、直径約 10 cm の大きさに丸めることができる程度に柔軟性が高く、デューワー内での取り回しが容易である。図 3 で示したようにフラットケーブルの動作試験は成功しており、真空中や低温中においても正常に動作することは確認済みである。



図 3: 開発した新しいフラットケーブルによる、SIDE CAR ASIC の動作試験。JADE2 Card と接続し、SIDE CAR ASIC の認識とフレーム取得ができることを確認した。

3 Detector Evaluation Test

3.1 Parameter Settings

我々は、H2RG を 4 台 (シリアル番号: #191, #196, #206, #208)、SIDE CAR ASIC を 4 台 (ボード番号: #46, #48, #52, #54)、JADE2 Card を 4 台 TIS 社から購入しており、これらの評価試験を行った。H2RG の駆動パラメータは、次のように設定した。

- ピクセルレート: 100 kHz
- 読み出しチャンネル数: 32 (読み出し時間 ~1.5 秒に相当)
- SIDE CAR ASIC PreAmp GAIN: 5.66

なお、読み出しチャンネル数は、SIDE CAR ASIC の担う PreAmp、AD 変換 (ADC) などの信号処理をいくつかのチャンネルで処理するかを決定するパラメータである。これらのパラメータは、読み出しノイズを小さく保ちながら読み出し時間を最小のように調節している。

3.2 Detector Degradation

4 台の H2RG のうち 1 台 (#208) については、hot pixel の数が非常に多くなっており、暗電流が $1 e^- / \text{sec}$ 以上のピクセルが全ピクセルの 5% 以上の割合で存在することがわかった。B. J. Rausher et al. (2012) によれば、同様の現象が検出器内の腐食 (detector degradation) によって発生することが明らかになっている。

表 1: コンバージョンゲインの測定結果。単位は e^-/ADU 。平均と標準偏差は 32 チャンネルについてのもの。

H2RG	ASIC	平均	標準偏差
# 191	#048	2.15	0.03
#196		2.49	0.08
#206	#048	2.34	0.06
		#046	2.36
	#052	2.33	0.07
	#054	2.34	0.06

このような腐食は H2RG を常温で長い期間放置したときに起きやすく、我々が H2RG を 3 年間常温で保管していた間に腐食が起きたものと考えられる。

4 Test Results

4.1 Conversion Gain

コンバージョンゲイン $g_c e^-/ADU$ は、フォントランスファー法によって求められる。測定結果を表 1 に示す。この結果から、異なる H2RG では SIDE CAR ASIC が同じであっても g_c の値が大きく異なることが分かる。このことから、 g_c を決める特性である H2RG 内のピクセル容量や ROIC のゲインは H2RG ごとに異なっていることが分かる。また逆に、同一の H2RG では SIDE CAR ASIC が異なっても g_c の値がほぼ同じであることから、SIDE CAR ASIC 内の Pre Amp 特性などは全ての SIDE CAR ASIC で同じであることが分かる。

4.2 Readout Noise

CDS 読み出しノイズ σ_{CDS} も g_c と同様にフォントランスファー法で測定する。表 2 に示したように、全ての組合せについて $\sigma_{CDS} \sim 16 e^-$ である。また、 σ_{CDS} は読み出しチャンネルによって大きく異なり、peak-to-peak では最大 $\sim 30\%$ の差があることがわかった。これにより、読み出しノイズ限界の観測

表 2: CDS 読み出しノイズの測定結果。単位は e^- 。各測定値は 32 チャンネルについての統計をとった。

H2RG	ASIC	平均	標準偏差	最大-最小
# 191	#048	15.1	0.7	4.4
#196		16.6	1.4	4.9
#206	#048	15.9	1.1	4.7
		#046	17.1	1.1
	#052	16.0	1.2	5.4
	#054	16.2	0.9	4.2

ではチャンネルによって感度が異なるという問題が起こると考えられる。

また、SIDE CAR ASIC の Pre Amp GAIN 設定によって g_c が変化することを利用して、読み出しノイズに占める ADC の寄与を求めることができる。これにより、読み出し回路内の各部分のノイズ成分の大きさを見積もることができる (S. Todo et al. (2014))。結果は図 4、図 5 に示した。この結果から、読み出しノイズは確かに GAIN 設定によって変化することが確かめられた。GAIN 設定が大きくなるほど g_c は小さくなり、ADC の寄与も小さくなるため、読み出しノイズもまた小さくなる。また、我々の用いている Pre Amp GAIN = 5.66 という設定においては、ADC のノイズへの寄与はほとんど無視することができ、読み出しノイズに寄与している主なノイズソースは H2RG 内部にあることがわかった。

5 Future Works

本研究により、SWIMS の検出器読み出しシステムの主要なコンポーネントは開発が完了しており、今後はシステムを統合し、SWIMS 本体に組み込む開発作業が必要になる。また、検出器の評価試験についてもおおむね完了しているが、同時駆動に伴うノイズの変化などいくつかの項目については未評価であり、試験する必要がある。これらによって検出器読み出しシステムが完成した後、SWIMS は 2015 年度にハワイ観測所に移送され、すばる望遠鏡での試験観測および初期科学観測を予定している。

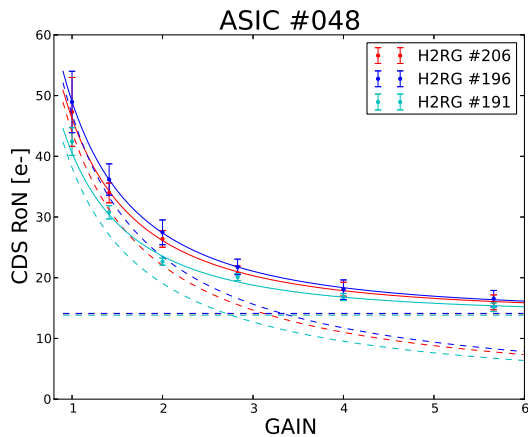


図 4: 横軸は PreAmp GAIN の設定値、縦軸は読み出しノイズの測定値。点線の曲線が ADC のノイズ成分であり、点線の直線が ADC 以外の成分である。実線はこの 2 成分の合成であり、実線が測定値に合うようにフィッティングした。

B. J. Rauscher, C. Stahle, R. J. Hill, M. Greenhouse, J. Beletic et al., “Commentary: JWST Near-Infrared Detector Degradation— Finding the Problem, Fixing the Problem, and Moving Forward”, AIP Advances, 2, 021901 (2012).

S. Todo, K. Tateuchi, K. Motohara, M. Konishi, H. Takahashi, Y. Kitagawa and N. M. Kato, “Optimization and performance of H2RG detectors and SIDE-CAR ASICs for SWIMS”, Proc. SPIE 9154 (2014)

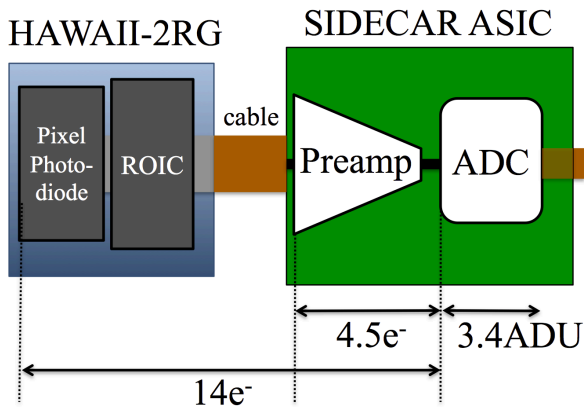


図 5: 各ノイズソースの典型的な大きさ。

References

Y. Yoshii, M. Doi, T. Handa, K. Kawara, K. Kohno, T. Minezaki, K. Mitsuda, T. Miyata, K. Motohara and M. Tanaka, “Tokyo Atacama Observatory Project”, Proc. of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting II, 35-36 (2002).

M. Konishi, K. Motohara, H. Takahashi, K. Tateuchi, Y. Kitagawa, N. M. Kato et al., “Design and development of SWIMS: a near-infrared multi-object spectrograph for the University of Tokyo Atacama Observatory”, Proc. SPIE 8446, 84467P (2012).