

近赤外線2色同時多天体分光撮 像装置SWIMSの検出器性能評価

東京大学天文学教育研究センター

修士2年 寺尾恭範

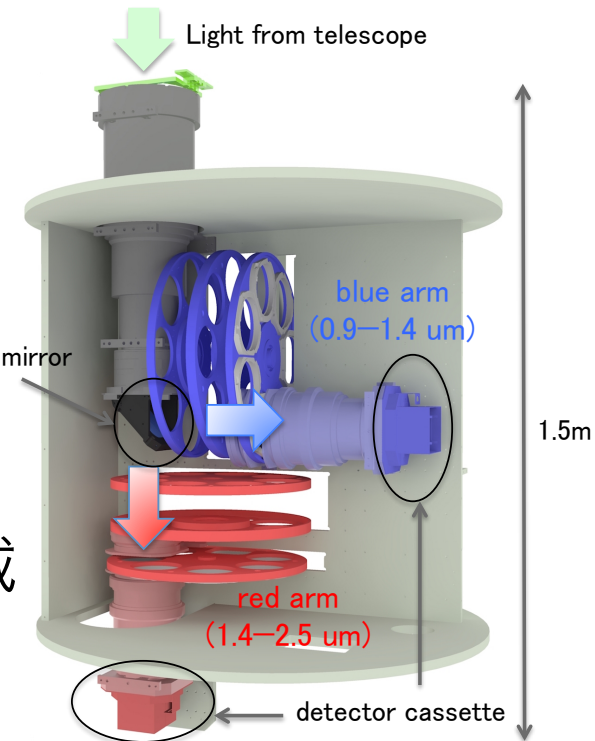
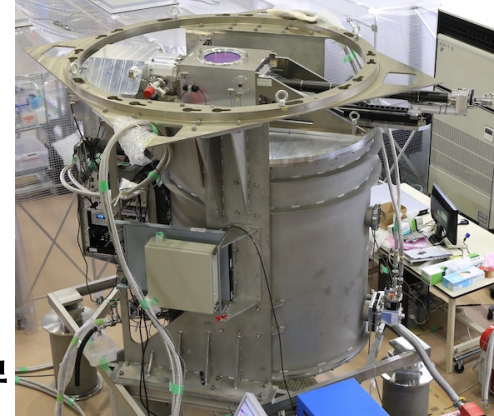
本原顕太郎、小西真広、高橋英則、加藤夏子、
北川祐太郎、大橋宗史（東京大学）

SWIMS

- TAO 6.5 m望遠鏡の第1期近赤外線装置
- 2017年にすばる望遠鏡で試験観測

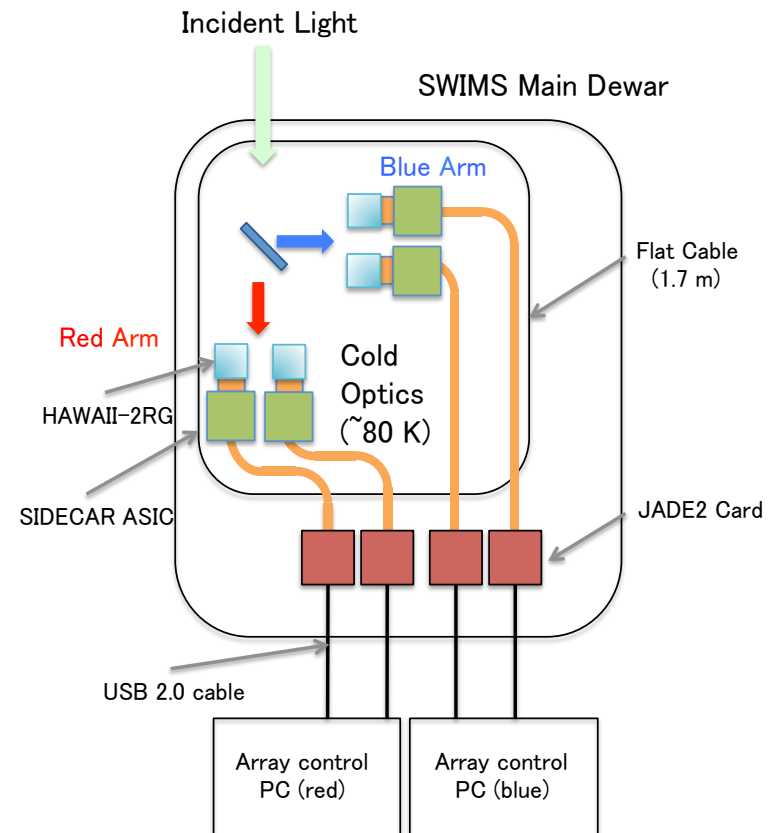
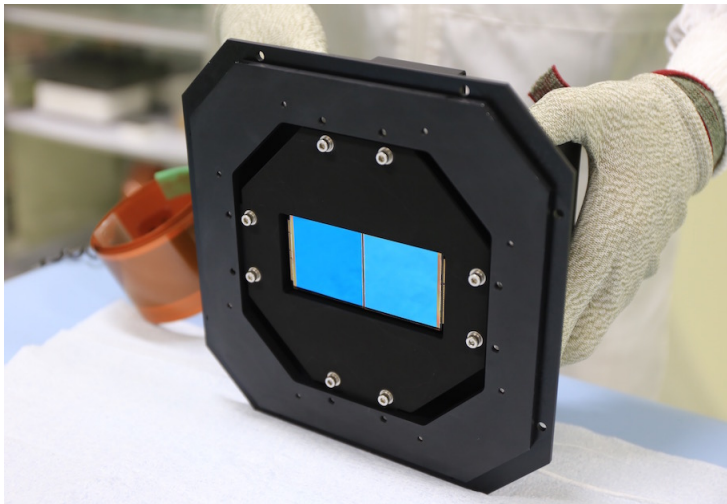
特長：

- $\phi 9'.6$ の広視野
- 0.9–1.4 μm と1.4–2.5 μm の2色同時観測
- 撮像、多天体分光、面分光モードを搭載



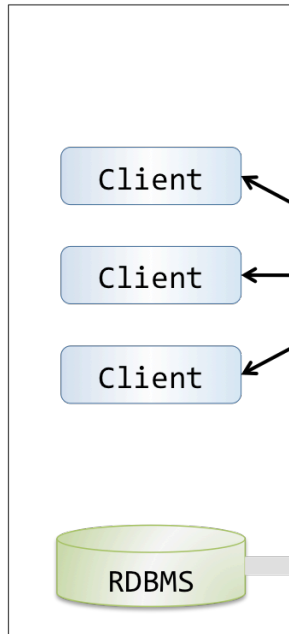
検出器

- HAWAII-2RG (H2RG) を計4台搭載
- 読み出しには2種類の専用回路を使用

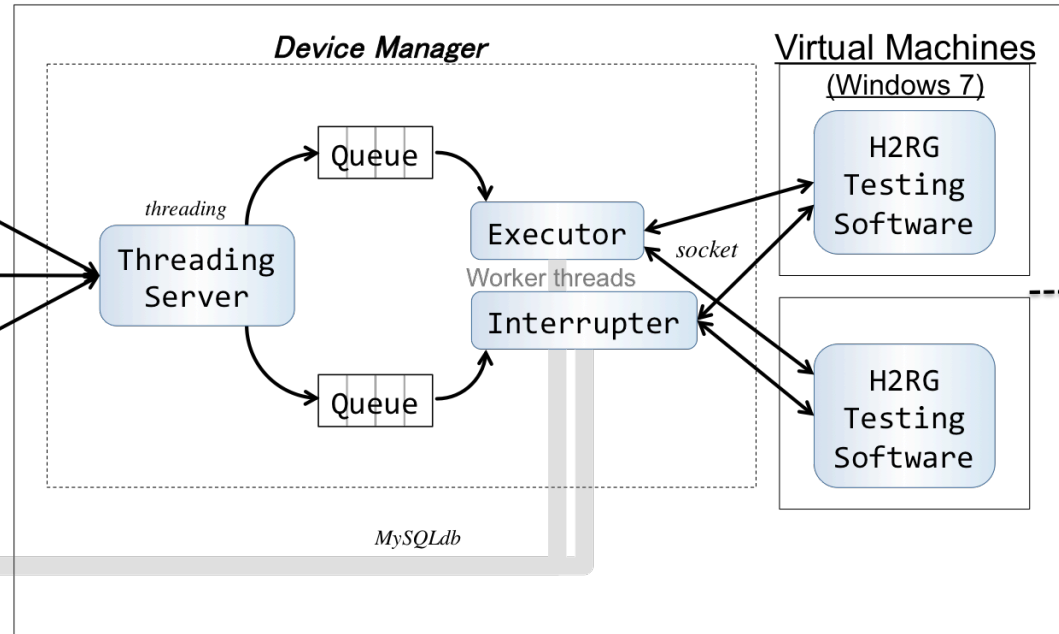


同時駆動システム

SWIMS制御用PC
(CentOS 6.7)



検出器制御用PC
(CentOS 6.7)



- 検出器制御用PCでそれぞれのH2RGを制御
- サーバー・クライアント通信により1台のPCからH2RGの複数台同時駆動が可能

評価項目

- 読み出しノイズ
- 暗電流
- 光入射後の残像

試験時の駆動パラメータ

Temperature	~95 K	
Pixel rate	100 kHz	
Output channel	32 ch	
Preamp gain	5.66	
Conversion factor	2.28 e ⁻ /ADU	
Bias/ Reference voltage	Vreset	0.3715 V
	Dsub	0.6217 V
	Vbiasgate	1.8513 V
	VrefMain	1.1593 V

読み出しノイズに対する要求性能

- 観測時のノイズは以下の式で表される

$$N_{\text{noise}} = \sqrt{n_i t + n_{\text{sky}} t + n_{\text{dark}} t + \sigma_{\text{read}}^2} \text{ [e}^- \text{]}$$

n_i : 天体からの光子によって生じる電子
 n_{sky} : 背景光によって生じる電子
 n_{dark} : 暗電流
 σ_{read} : 読み出しノイズ

- 読み出しノイズが支配的にならないこと (背景光リミットであること)を要請

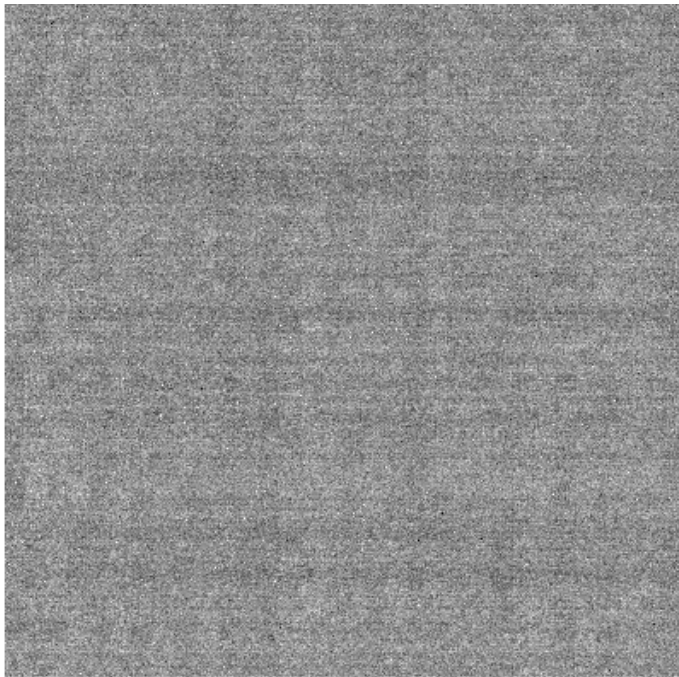
$$\sigma_{\text{read}} < \sqrt{n_{\text{sky}} t} \Rightarrow \sigma_{\text{read}} < 14 \text{ e}^- \text{ r.m.s.}$$

- 背景光は19.8 mag/arcsec² (OH夜光の影響を除いたJバンドでの背景光)と仮定し、t=1000で計算

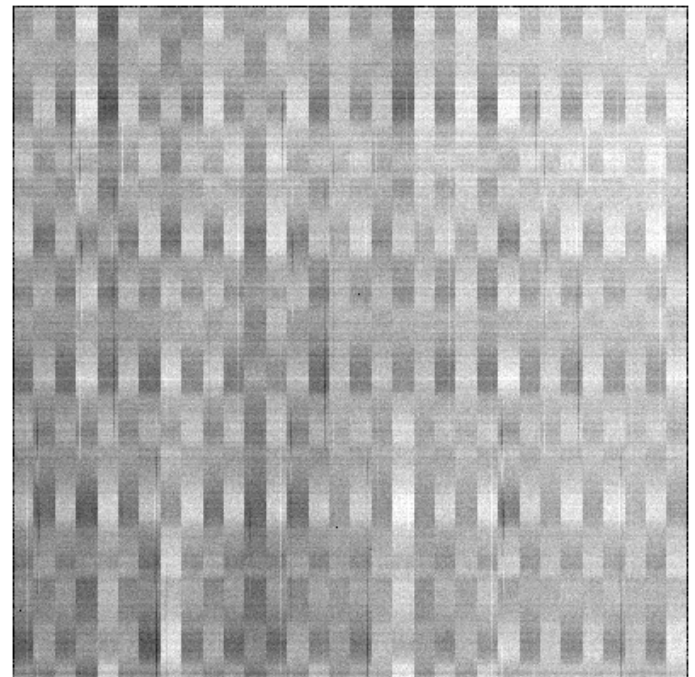
同時駆動時のノイズ増加

- H2RGを2台以上同時に動かすとノイズが増加した
 - 光を入れずに最短積分時間で取得した画像で測定

単独駆動
(24 e⁻ r.m.s.)



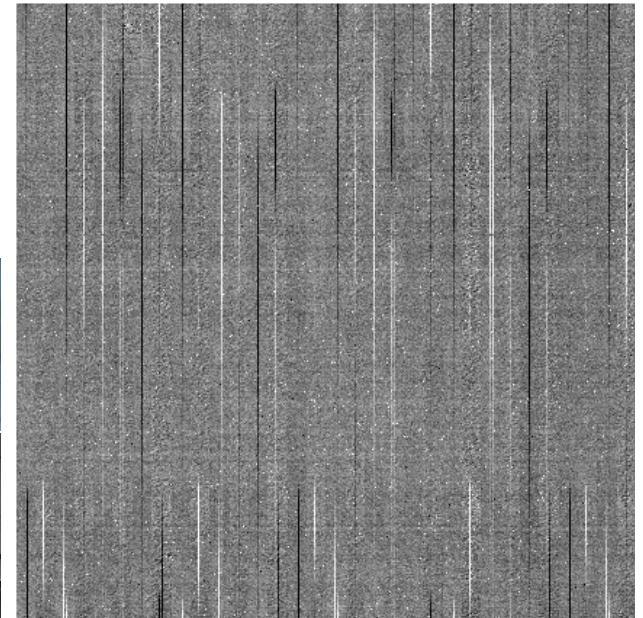
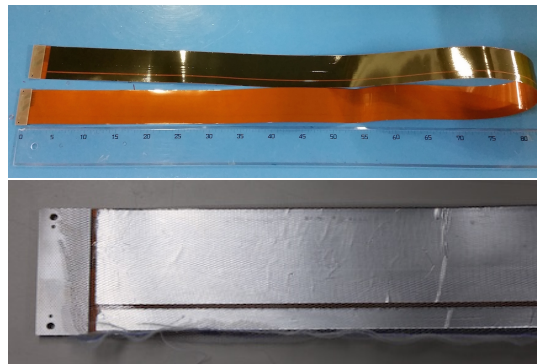
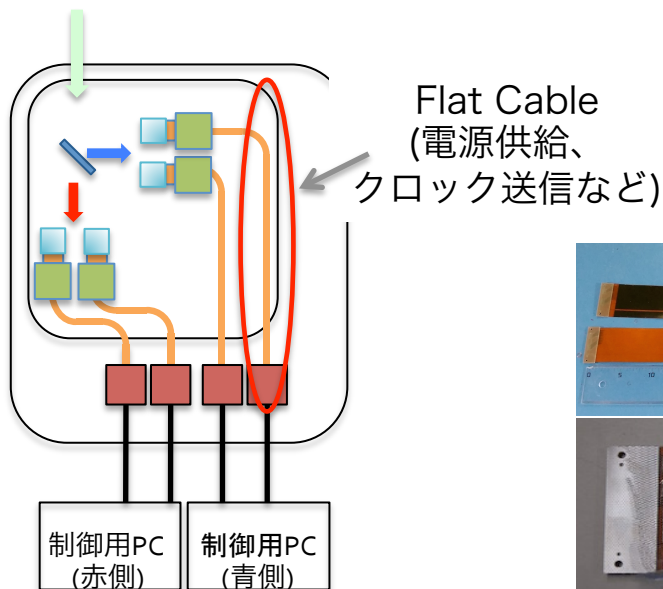
同時駆動
(92 e⁻ r.m.s.)



ケーブルのシールド加工による改善

- 読み出し回路接続用フラットケーブルの干渉が原因
- シールド加工を施すことで干渉パターン解消
 - アルミテープを貼り、銅線を用いてグラウンドに接続
- しかし、依然単独駆動時には無いパターンが見えている

同時駆動
(33 e⁻ r.m.s.)

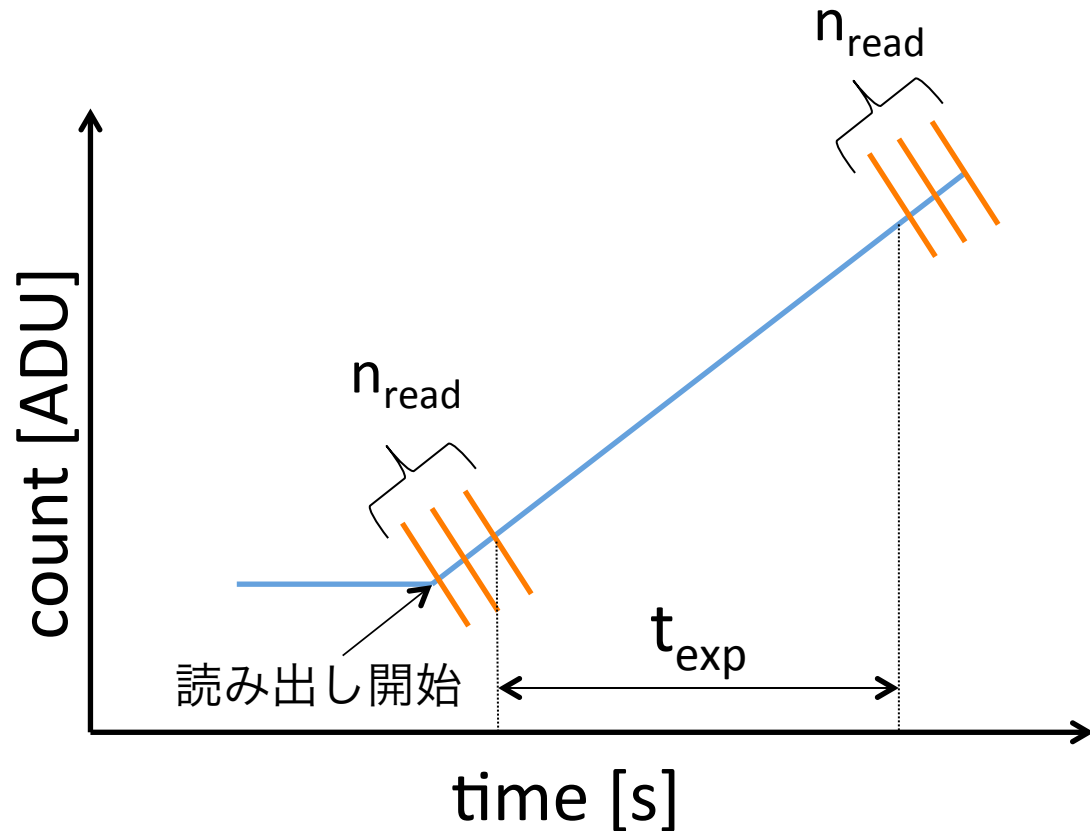


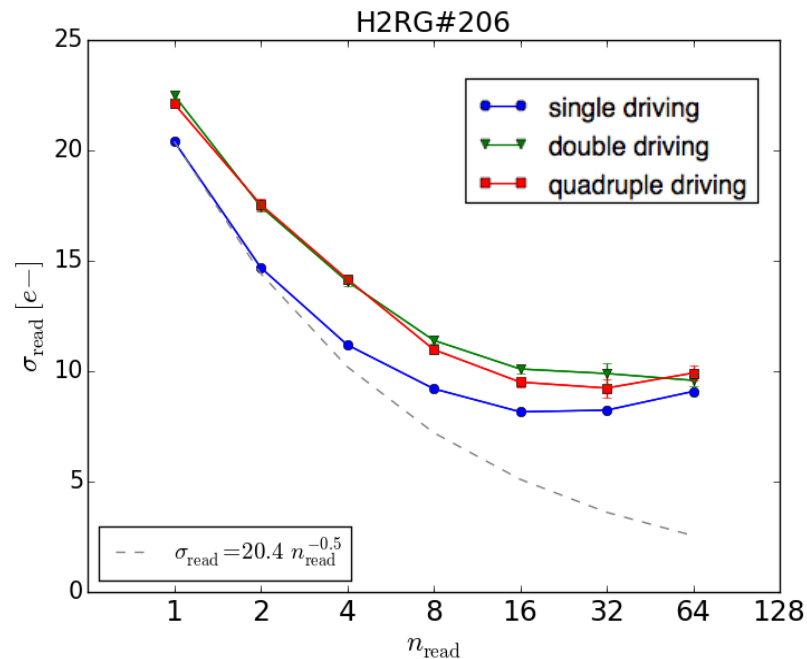
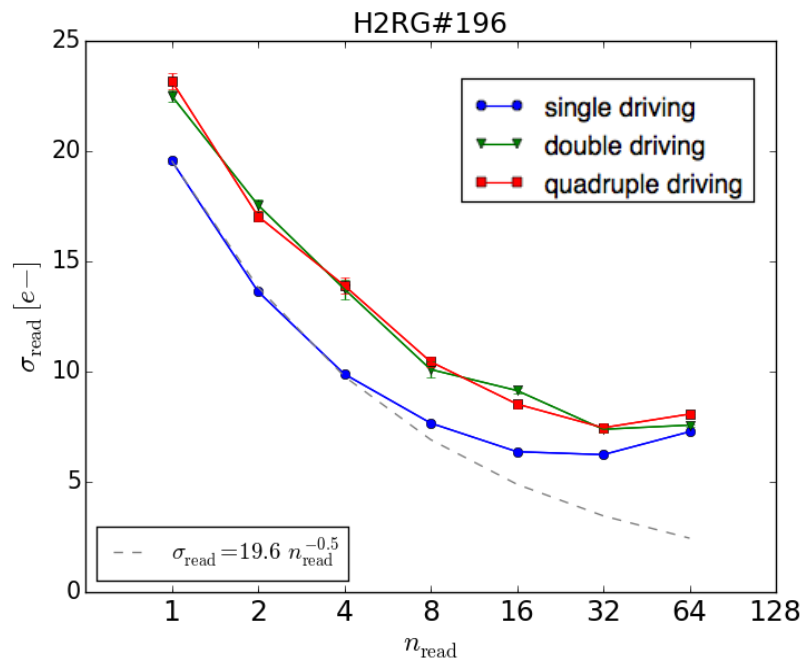
Fowler samplingでの読み出しノイズ

- 始めと終わりに n_{read} 枚ずつ画像を取得し、それぞれの平均から差分画像を作成 (Fowler & Gatley, 1990)

理想的には

$$\sigma_{\text{read}} \propto n_{\text{read}}^{-0.5}$$





HAWAII-2RG		#196			#206		
SIDECAR ASIC		#54			#52		
# of driving HAWAII-2RGs		1	2	4	1	2	4
Readout Noise with various n_{read} (e- r.m.s.)	1	19.6	22.5	23.2	20.4	22.5	22.1
	2	13.6	17.6	17.0	14.7	17.5	17.5
	4	9.9	13.7	13.9	11.2	14.1	14.2
	8	7.7	10.1	10.4	9.2	11.4	11.0
	16	6.4	9.1	8.5	8.2	10.1	9.5
	32	6.2	7.4	7.5	8.2	9.9	9.2
	64	7.3	7.6	8.1	9.1	9.6	9.9

読み出し回数を増やすことにより、

複数台同時駆動時にも14 e⁻ r.m.s.以下のノイズを達成

HAWAII-2RG		#196			#206		
SIDE CAR ASIC		#54			#52		
# of driving HAWAII-2RGs		1	2	4	1	2	4
Readout Noise with various n_{read} (e ⁻ r.m.s.)	1	19.6	22.5	23.2	20.4	22.5	22.1
	2	13.6	17.6	17.0	14.7	17.5	17.5
	4	9.9	13.7	13.9	11.2	14.1	14.2
	8	7.7	10.1	10.4	9.2	11.4	11.0
	16	6.4	9.1	8.5	8.2	10.1	9.5
	32	6.2	7.4	7.5	8.2	9.9	9.2
	64	7.3	7.6	8.1	9.1	9.6	9.9

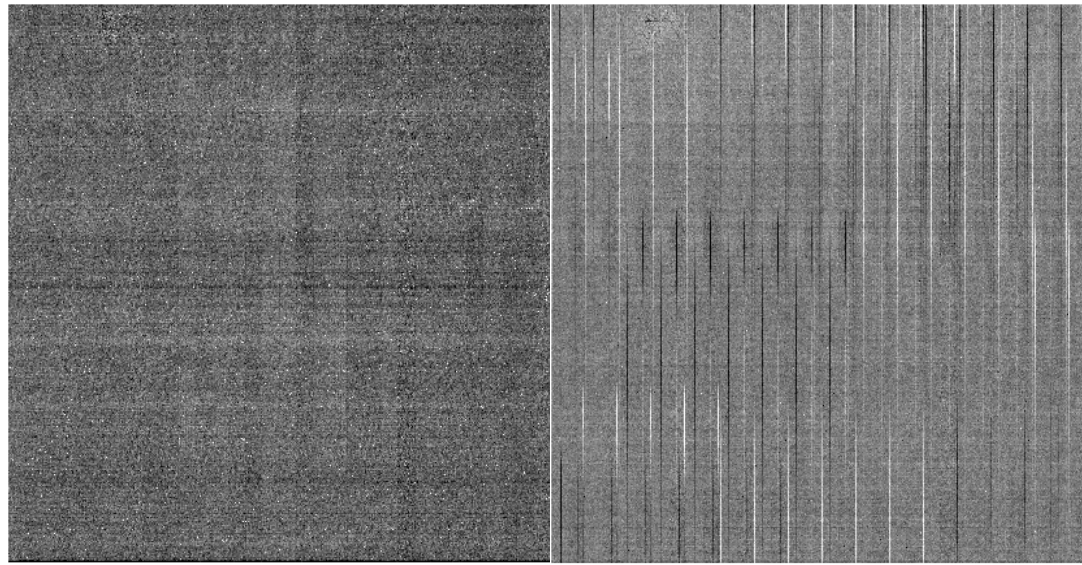
リセットタイミングのずれ

- 他のH2RGがリセットを行っている時に読み出した画像にはひっかいたようなパターンが現れる
- 2台同時駆動で取得した画像の時刻がずれている

➔ リセット(駆動)タイミングがずれていることが原因?
(JADE2 Cardの同期、SAM Cardの導入で解消期待)

リセットなし

リセットあり



評価項目

- 読み出しノイズ
- 暗電流
- 光入射後の残像

暗電流に対する要求性能

- 読み出しノイズのときと同様の考え方

$$N_{\text{noise}} = \sqrt{n_i t + n_{\text{sky}} t + n_{\text{dark}} t + \sigma_{\text{read}}^2} \quad [e^-]$$

n_i : 天体からの光子によって生じた電子
 n_{sky} : 背景光によって生じた電子
 n_{dark} : 暗電流
 σ_{read} : 読み出しノイズ

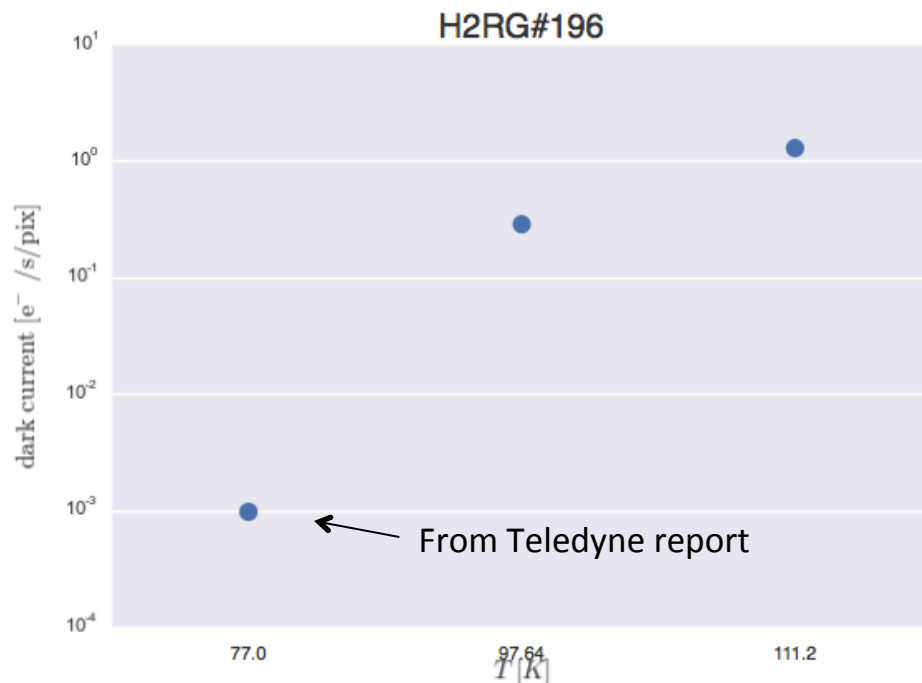
- 暗電流が背景光由来の電子に対して十分小さいことを要請

$$n_{\text{dark}} \ll 0.20 \text{ e}^- / \text{s} / \text{pix}$$

温度依存性

- 暗電流の値は検出器温度に強く依存
- 少しでも温度を下げるために検出器部の熱絶縁強化を準備中

温度 [K]	暗電流 [e ⁻ /s/pix]
77	0.001
97.64	0.295
111.2	1.33



評価項目

- 読み出しノイズ
- 暗電流
- 光入射後の残像

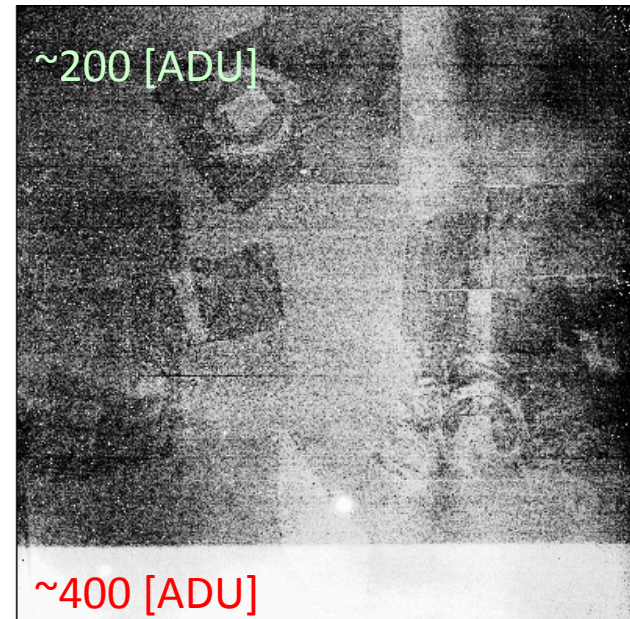
光入射後の残像

- 光を入射して画像を取得すると、その後に(光を入れずに)取得した画像に残像が見られた

光入射画像

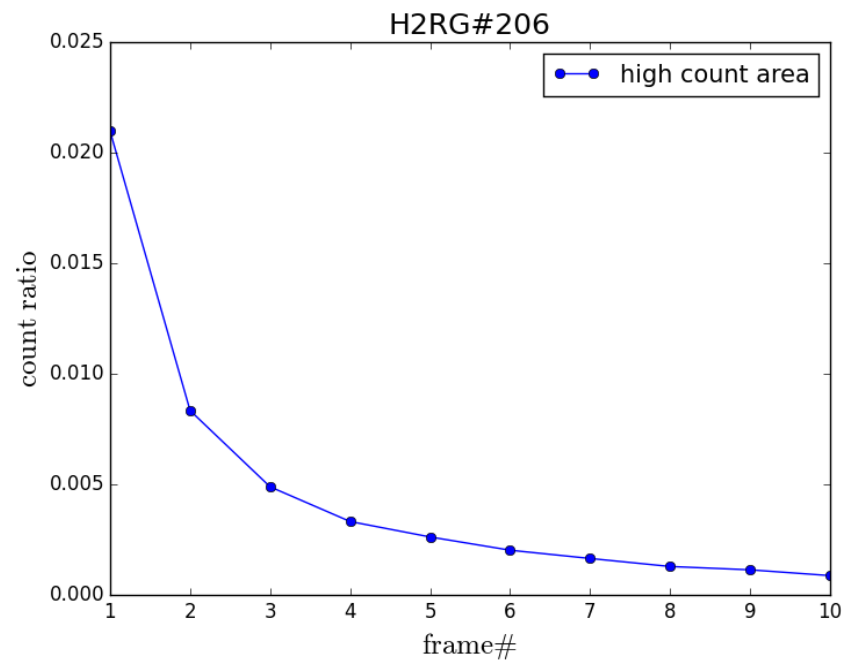
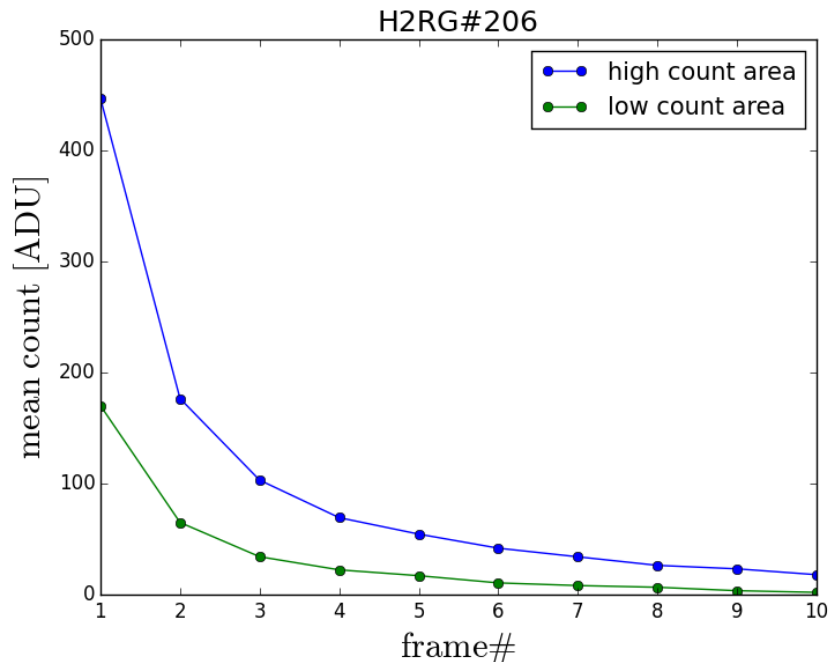


その後の画像



残像カウントの減少

- 読み出しを行うたびに残像は減少していく
- 高カウント領域の残像は2%程度(10枚目で~0.1%)
- 入射光レベルとの関係などは今後の課題



まとめ

- SWIMSではサーバー・クライアント通信により複数台のH2RGを同時に駆動する
- 同時駆動時にノイズの増加が見られたが、ケーブルのシールド加工によって改善した
- 読み出し回数を増やすことによって、同時駆動時にも十分低いノイズが得られた
- 暗電流の温度依存性は大きく、あと10 K程度冷やせれば大きく改善する可能性がある
- 光を入射した後は残像が現れ、読み出しを行うことで減少していく