



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

寺尾恭範 (y_terao@ioa.s.u.tokyo.ac.jp),
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)

1. SWIMS検出器システム

SWIMSとは

SWIMSは東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡の第1期近赤外線観測装置であり、以下の特長を持つ。

- $\phi 9.6$ の広視野
- 入射光を短波長側(0.9–1.4 μm)と長波長側(1.4–2.5 μm)に分割し、同時に観測
- 近赤外域の広い波長をカバー (0.9–2.5 μm)

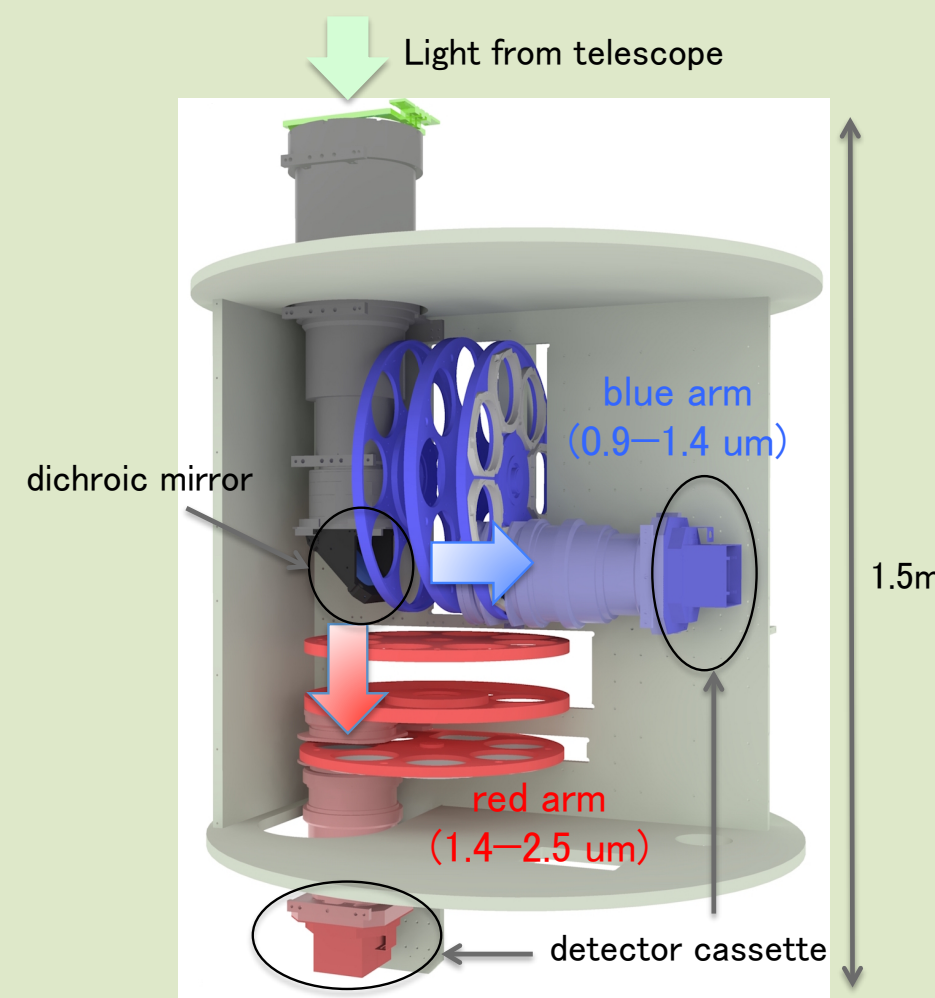


図1. SWIMS光学系の概要図

HAWAII-2RG同時駆動

短波長側と長波長側それぞれの焦点面にはTeledyne Imaging Sensor (TIS) 社のHAWAII-2RG (以下H2RG) 検出器が2台ずつ搭載されている。(最終的には4台ずつ搭載予定)

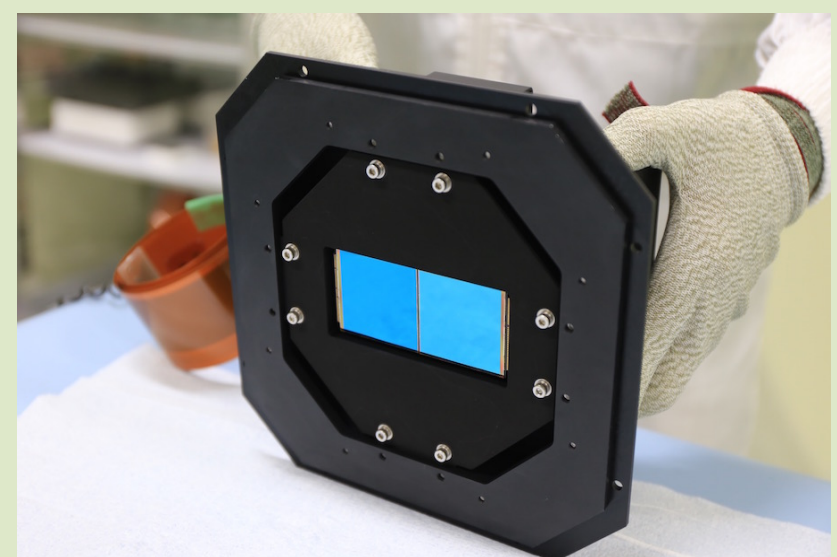


図2. 検出器カセットに搭載されたH2RG

Specification of HAWAII-2RG	
Detector material	HgCdTe
Cutoff wavelength	2.5 μm
Number of pixels	2048×2048
Pixel size	18 μm
Quantum efficiency	$\geq 70\%$

表1. H2RGのスペック

H2RGの駆動にはTIS社製の読み出し回路であるSIDE CAR ASICとJADE2 Cardを用いる。これらの接続にはフラットケーブルを使用し、電源供給や駆動用クロックの送信を行う。短波長側と長波長側のシステムはそれぞれ1台の検出器制御用PCにより制御される。各PC上でH2RG1台につきひとつの仮想Windowsを立ち上げ、Windows上で動く専用ソフトウェアによって各H2RGを制御する。複数台のH2RGの同時駆動は、SWIMS全体の制御用PCを用いて検出器制御用PCとサーバー・クライアント通信を行うことにより実現されている。

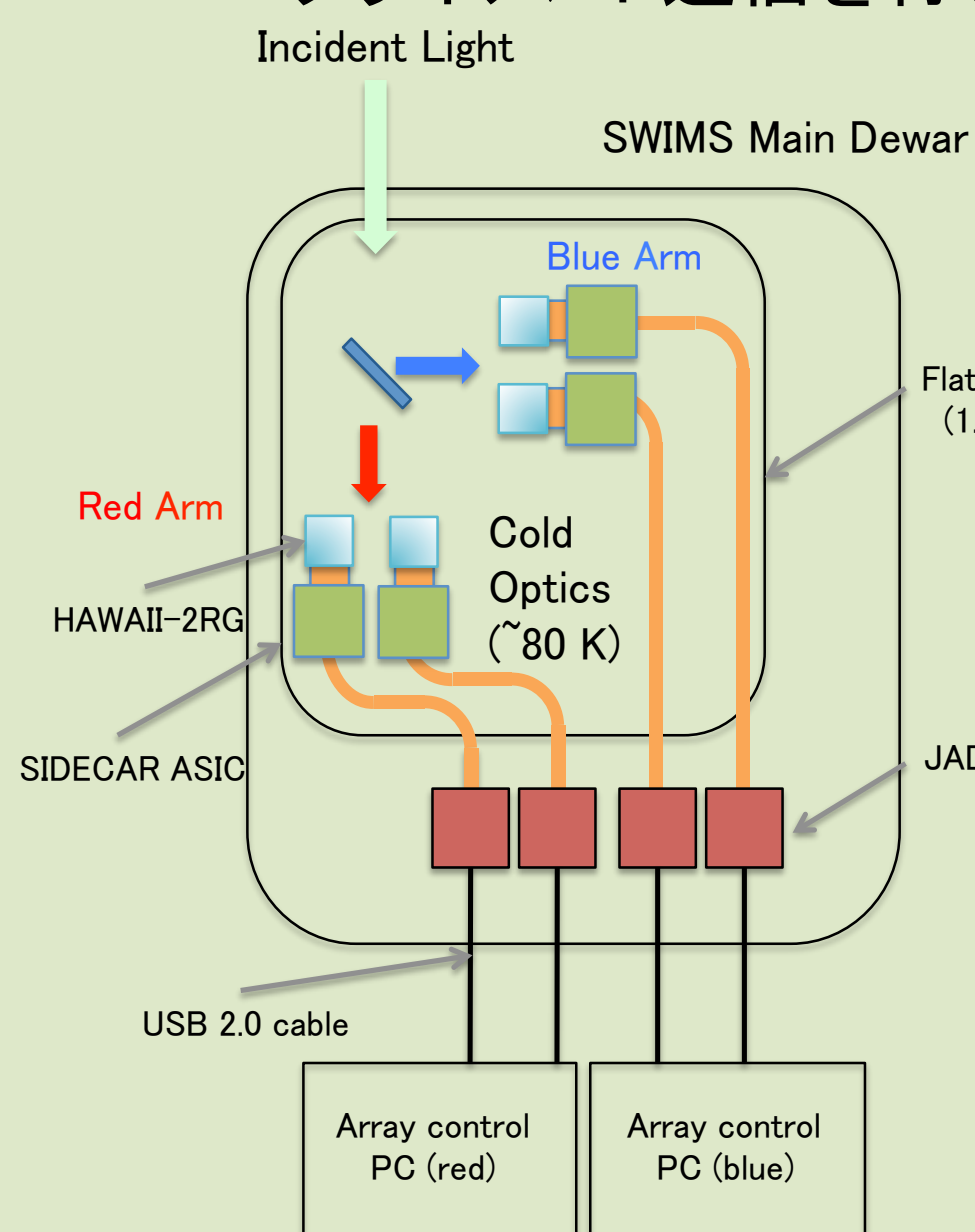


図3. SWIMS検出器システムの概要図。H2RGとASICは低温、JADE2は常温に保たれ、ともに真空下で駆動される

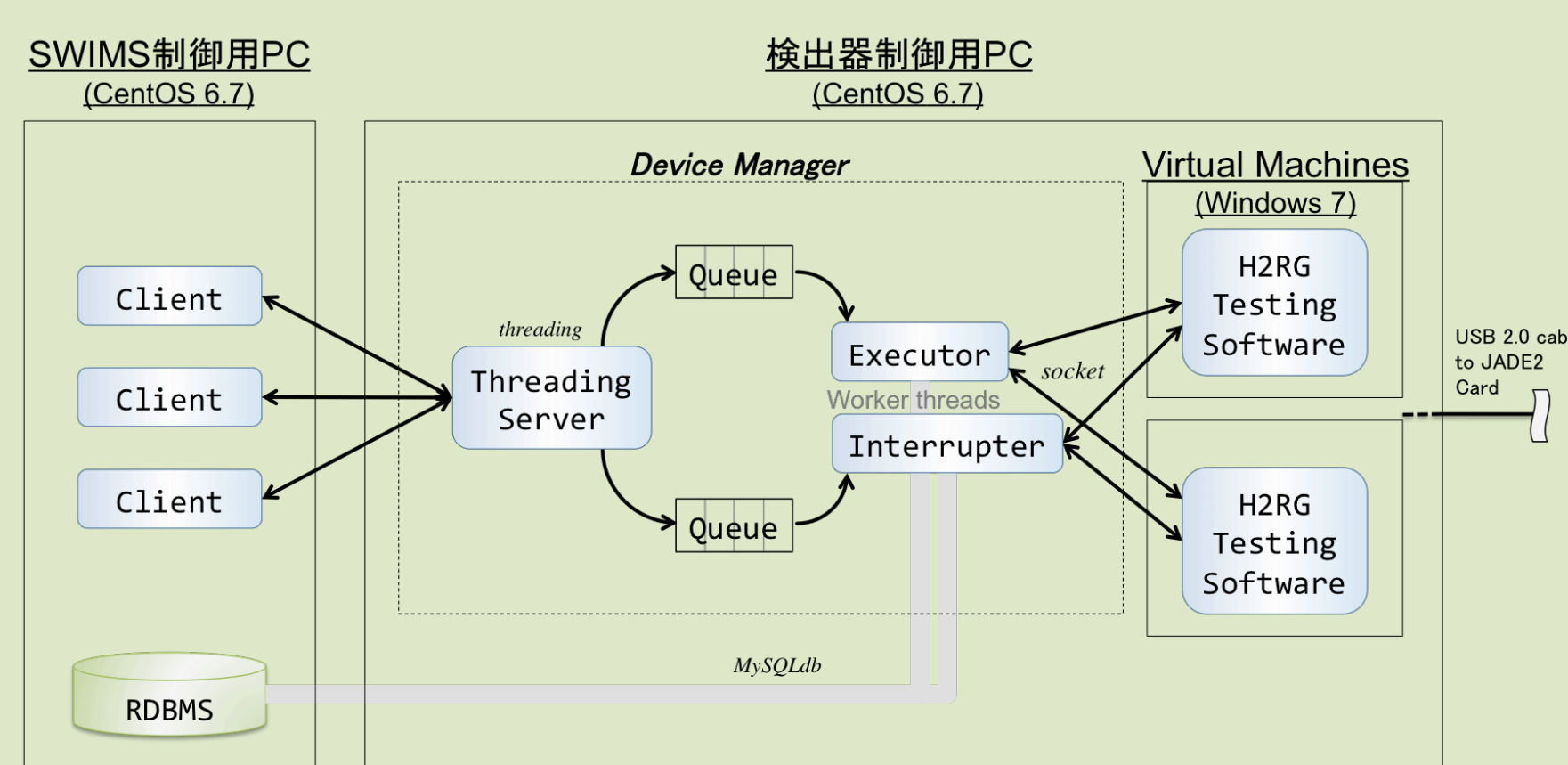


図4. 検出器制御ソフトウェアシステムの概念図。H2RG駆動用のソフトウェアがWindows上で動作するため、検出器1台につきひとつの仮想マシンを立ち上げる

2. 検出器性能評価

同時駆動時のノイズ増大

上記のシステムを用いたH2RGの同時駆動により画像を取得したところ、単独駆動の画像には見られない短周期(~5 Hz)のノイズパターンが現れ、読み出しノイズは約4倍に増大した。この短周期ノイズの原因は、SIDE CAR ASICとJADE2 CARDを接続するケーブルをシールドなしの特注フラットケーブルとしていたことによる干渉である。ケーブルにシールド加工を施すことにより改善した。

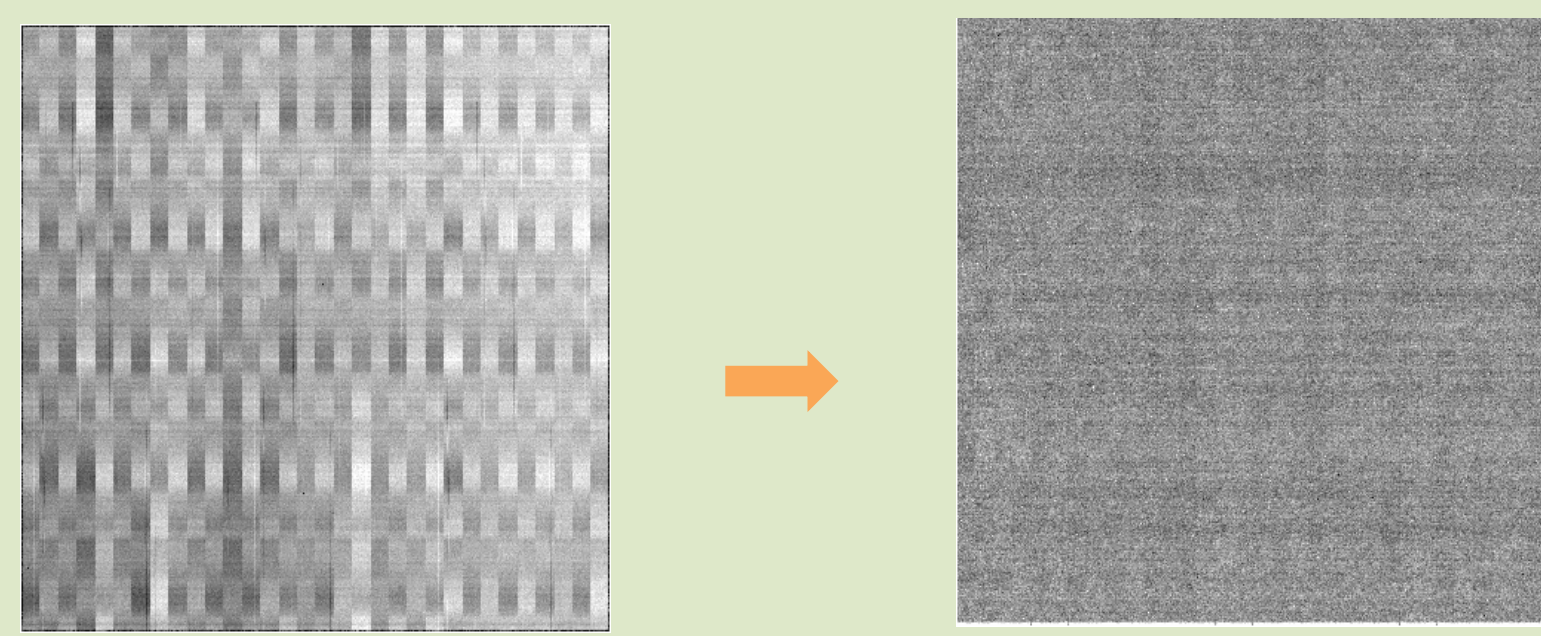


図5. 光を入れずに最短積分(~1.48秒)で取得した画像。上のフラットケーブルにより干渉が改善し、読み出しノイズは92 e⁻ r.m.s.から24 e⁻ r.m.s.まで減少した

また、1台が読み出しを行っているときにもう1台がリセットを行うと、図6のひっかいたようなパターンが現れた。このパターンは同時に読み出しを行う際にも見られ、H2RG駆動の同期が不完全であることが原因であると思われる。同期を完全にしてこれを解消するために、現在JADE2 Cardに代わる読み出し回路であるSAM Cardの導入を検討中である。

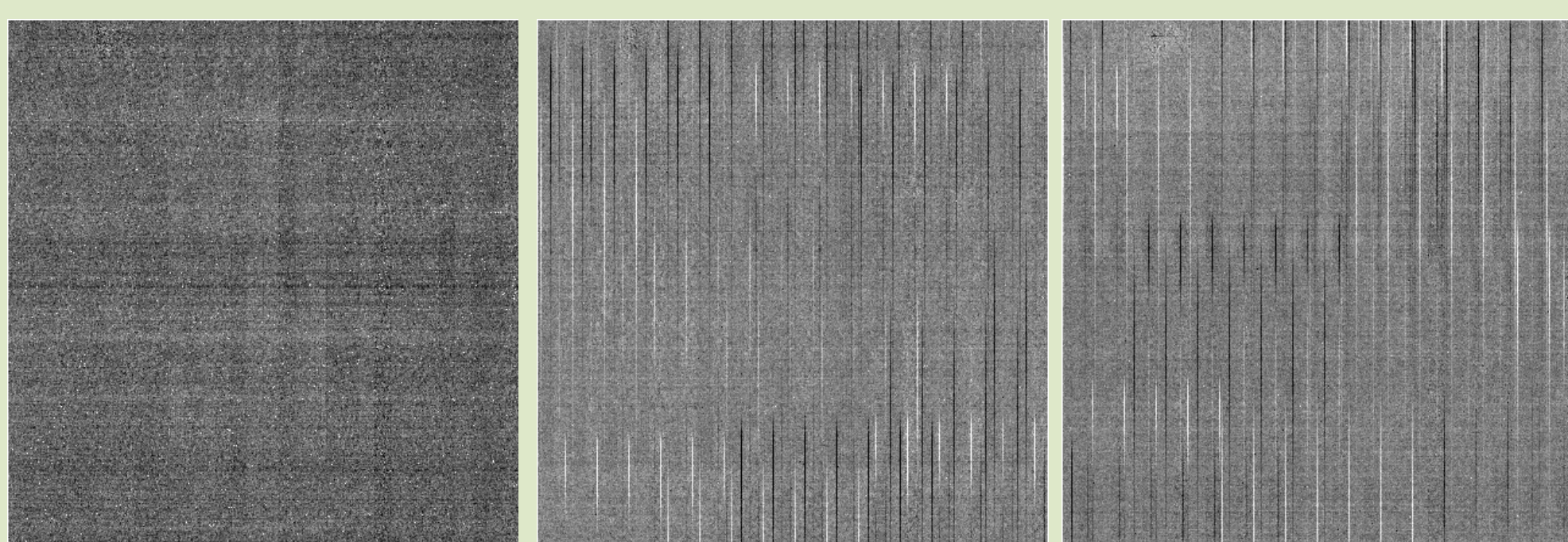


図6. (左)他のH2RGがリセットを行っていない状態で単独駆動 (中央)他のH2RGがリセットを行っている状態で単独駆動 (右)同時駆動により取得した画像

Fowler samplingでの読み出しノイズ

Fowler sampling (Fowler & Gatley, 1990)を用いて画像を取得し、SWIMS検出器システムの読み出しノイズを測定した。この方法では読み出し回数 n_{read} を増やすことで、理想的には読み出しノイズ $\sigma_{\text{read}} \propto \sigma_{\text{read}} \propto n_{\text{read}}^{-0.5}$ で減少する。以下に、H2RG#196とH2RG#206の結果を示す。試験時の検出器駆動パラメータは表2の通りである。

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

表2. 試験時の駆動パラメータ

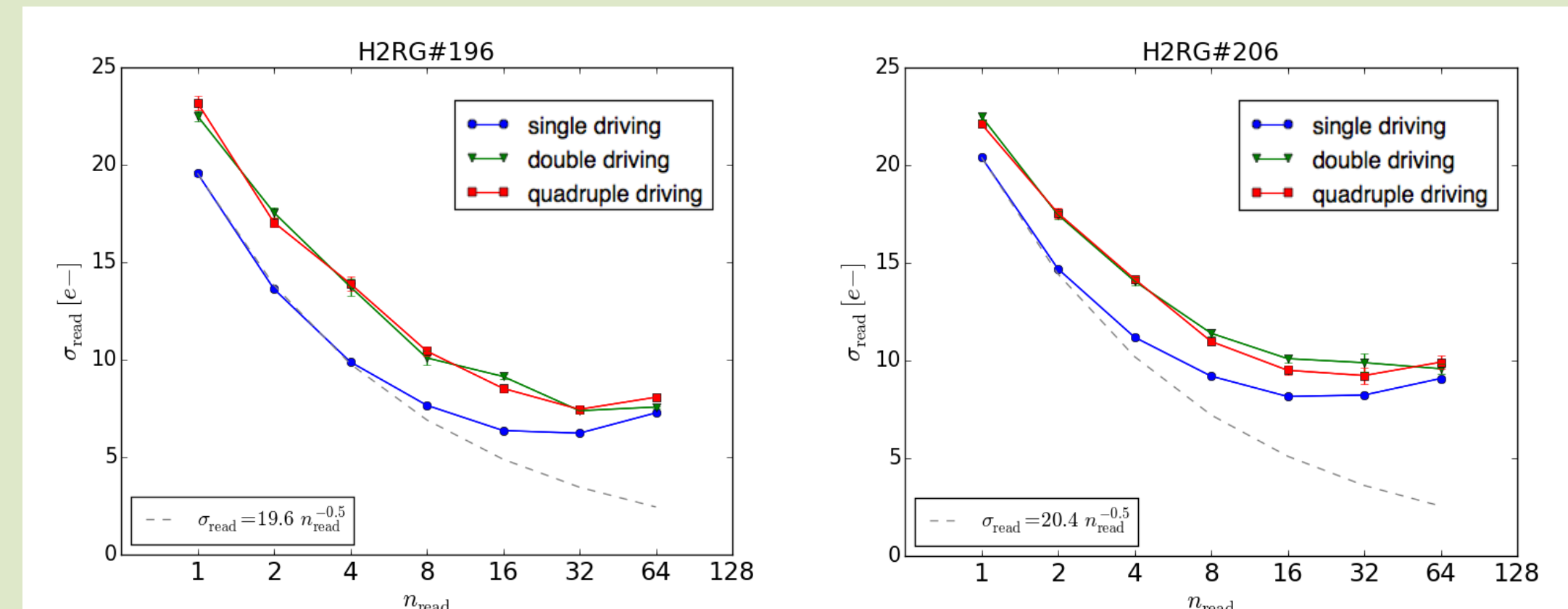


図7. 単独、2台同時、4台同時駆動時の読み出し回数と読み出しノイズの関係

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.)	19.6	22.5	23.2	20.4	22.5	22.1
	13.6	17.6	17.0	14.7	17.5	17.5
	9.9	13.7	13.9	11.2	14.1	14.2
	7.7	10.1	10.4	9.2	11.4	11.0
	6.4	9.1	8.5	8.2	10.1	9.5
	6.2	7.4	7.5	8.2	9.9	9.2
	7.3	7.6	8.1	9.1	9.6	9.9

表3. H2RG#196とH2RG#206の読み出しノイズ測定結果

いずれも単独駆動時の読み出しノイズが最も小さくなっており、これは上述のノイズパターンの影響によるものだと考えられる。また、ノイズは $n_{\text{read}}=32$ のときに極小値をとっている。さらに読み出し回数を増やした場合にノイズが増加に転じる要因としては、積分時間が長くなることによる暗電流の影響などが考えられる。読み出しノイズに対する要求は14 e⁻ r.m.s. 以下であり、 n_{read} を増やすことで複数台同時駆動時にも十分に低いノイズが得られることがわかった。

温度上昇による暗電流の増加

今回の試験では想定よりも装置の温度が下がらず、暗電流が大きくなってしまっている。しかし、図8のように暗電流の温度依存性は強く、~10 K温度を下げることでより要求性能(<0.02 e⁻/pix/s)に近づくことが期待される。現在、さらなる低温を実現するための熱パス増強などを準備中である。

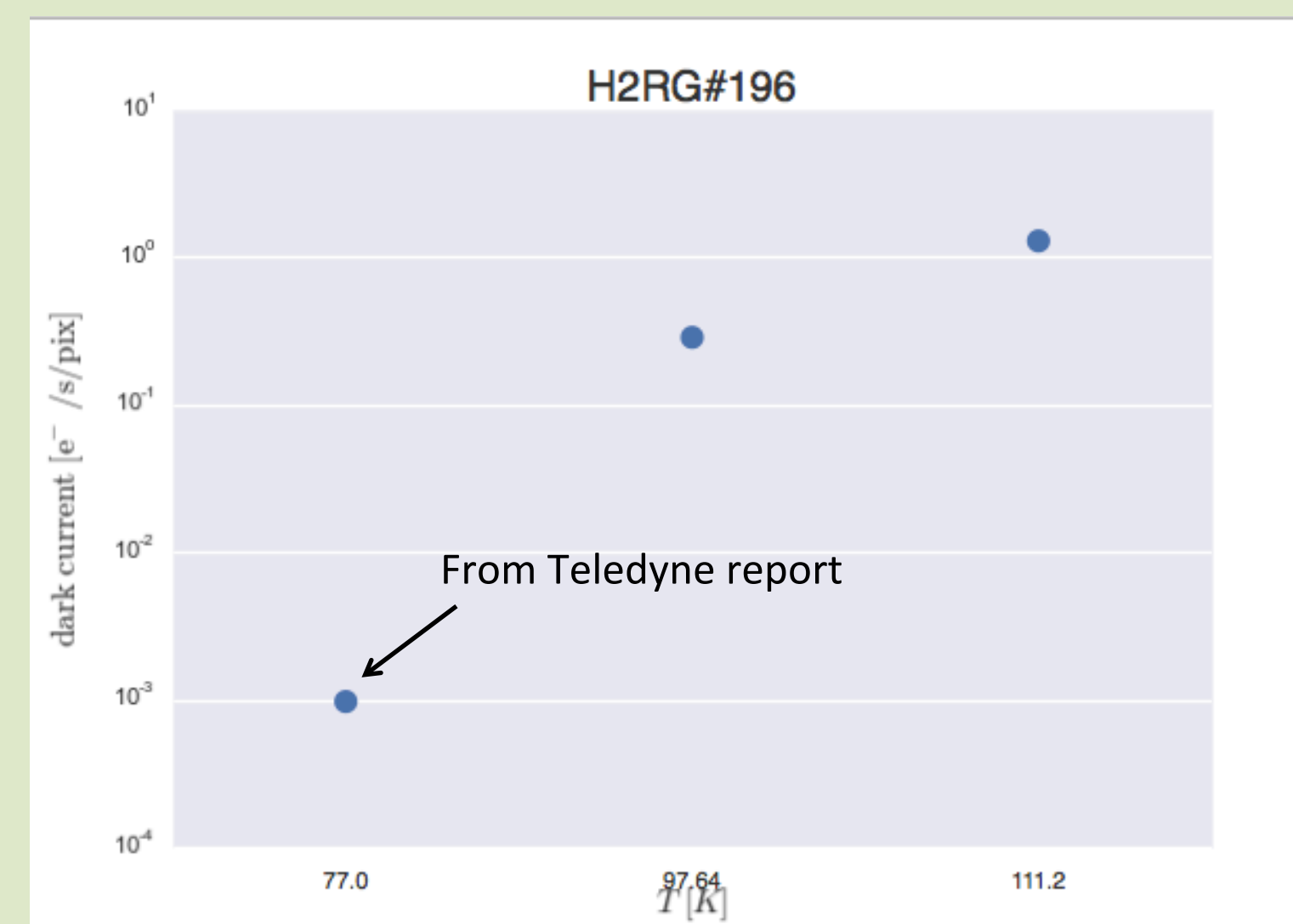


図8. H2RG#196の温度と暗電流の関係。77 Kでの値はTIS社の納品時レポートより引用

光入射後の残像

読み出しではなく時間経過のみに依存するのではないかとコメントを頂いた (Smith et al. (2008) などの先行研究でも報告されている)

今回試験に用いたH2RGは2台ともに、光を入射して画像を取得した後しばらくの間残像が見られた。この残像は続いて画像を取得するたびに薄くなり、カウントは一定値に近づいていく。光入射時のカウントが約20000 ADUの領域では2%程度の残像カウントが現れた。読み出し回数と残像カウントの関係については、減衰の定式化などより詳細に調べる必要がある。

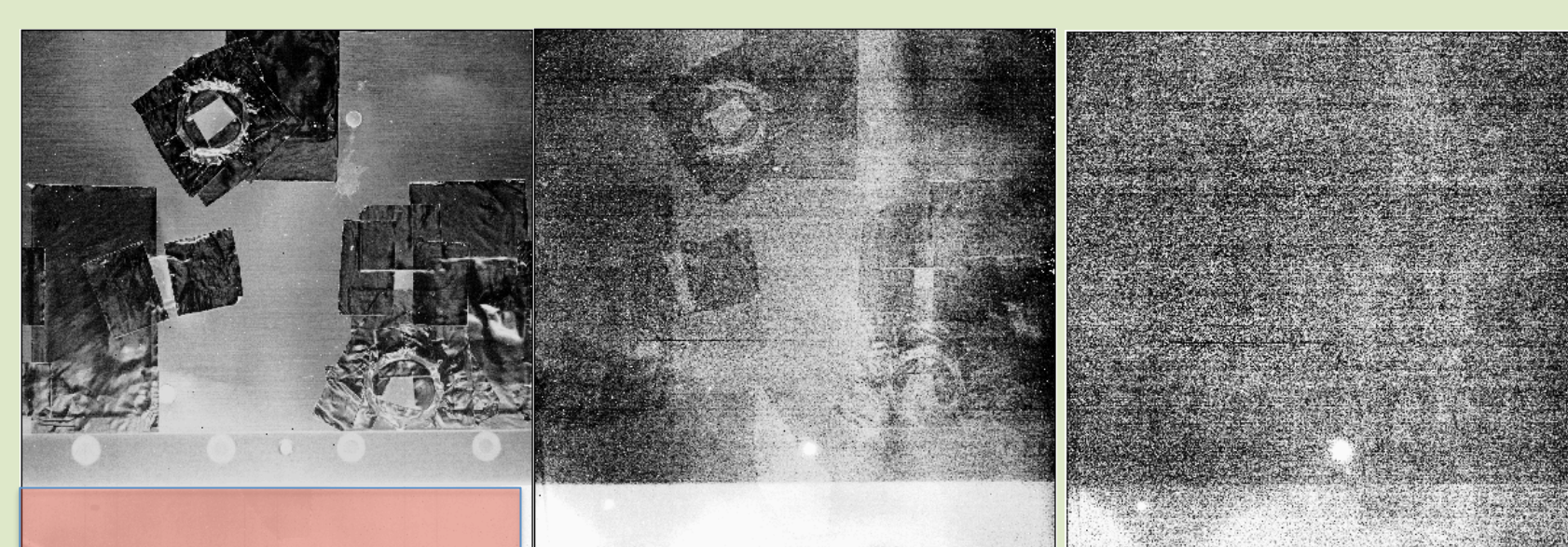


図9. 光を入れて取得した画像(左:最短露出)と、その後フィルタをクローズにして取得した1枚目の画像(中央:100秒積分)、10枚目の画像(右:100秒積分)

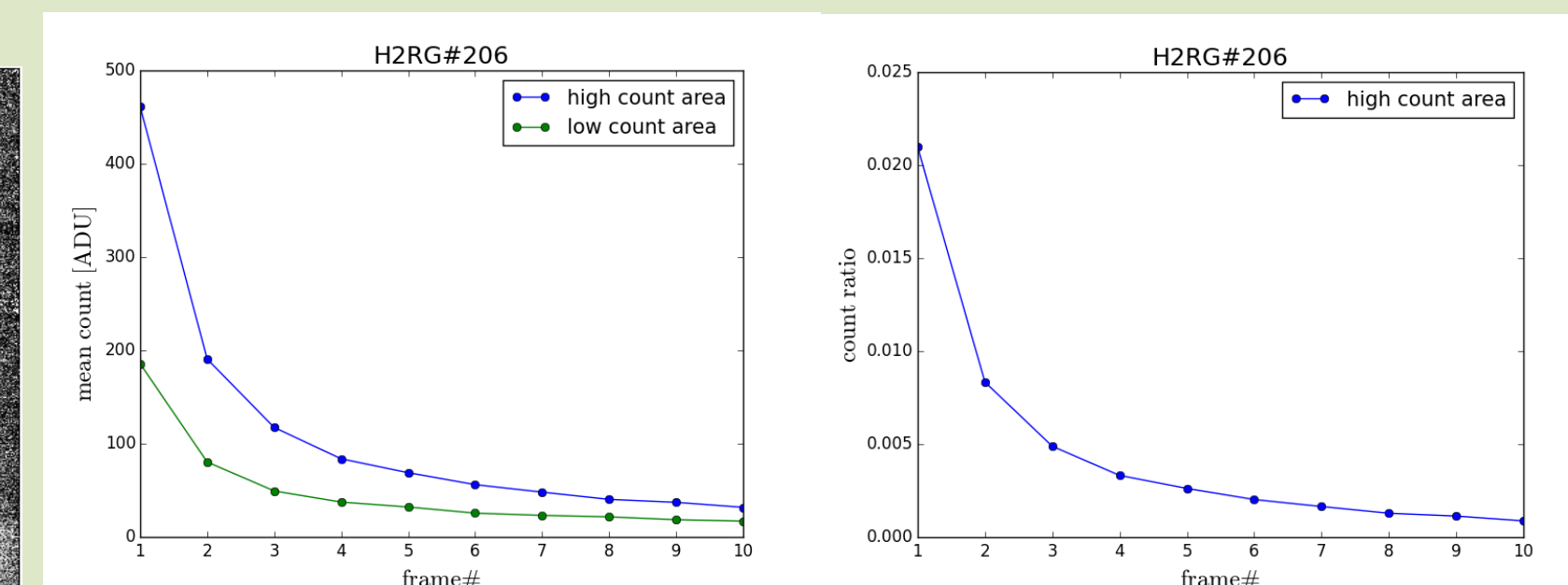


図10. (左)同一画像内の高カウント領域(図9(左)の赤領域)とそれ以外での、10枚読み出し時のカウント減少の様子(右)高カウント領域での光入射画像に対するカウントの比

3. まとめ

- SWIMSでは短波長側と長波長側それぞれの焦点面にH2RGを2台ずつ搭載し、サーバー・クライアント通信によってそれらの同時駆動を実現する
- H2RG同時駆動時のフラットケーブル干渉はシールド加工を施すことで解決したが、駆動タイミングのずれに起因すると思われるパターンが存在
- Fowler samplingを用いることで、同時駆動時にも十分に低いノイズが得られることが確かめられた
- 装置の到達温度が高く暗電流が大きいが、~10 K低い温度を実現できれば大きく改善すると期待される
- 光入射による焼き付きが存在し、その後の読み出しとともに減少していく