

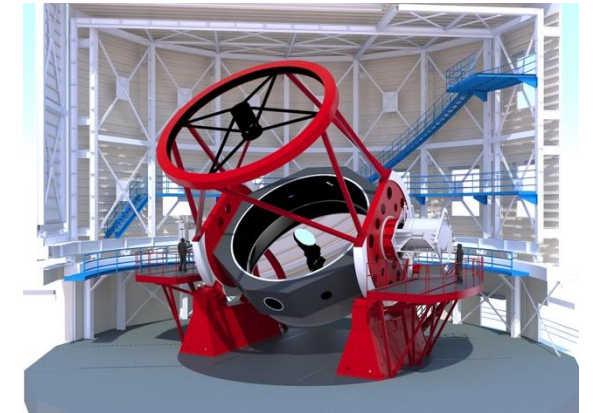
CMOSカメラモジュールの 実験室性能評価

東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター
兒玉工門

1. イントロダクション
2. 評価実験1:TAO望遠鏡可視光装置用カメラモジュールの性能評価
3. 評価実験2:TAOカメラモジュールとTriCCS、Tomo-e Gozenのセンサーのダークカレント、読み出しノイズの比較
4. まとめ

TAO6.5m望遠鏡

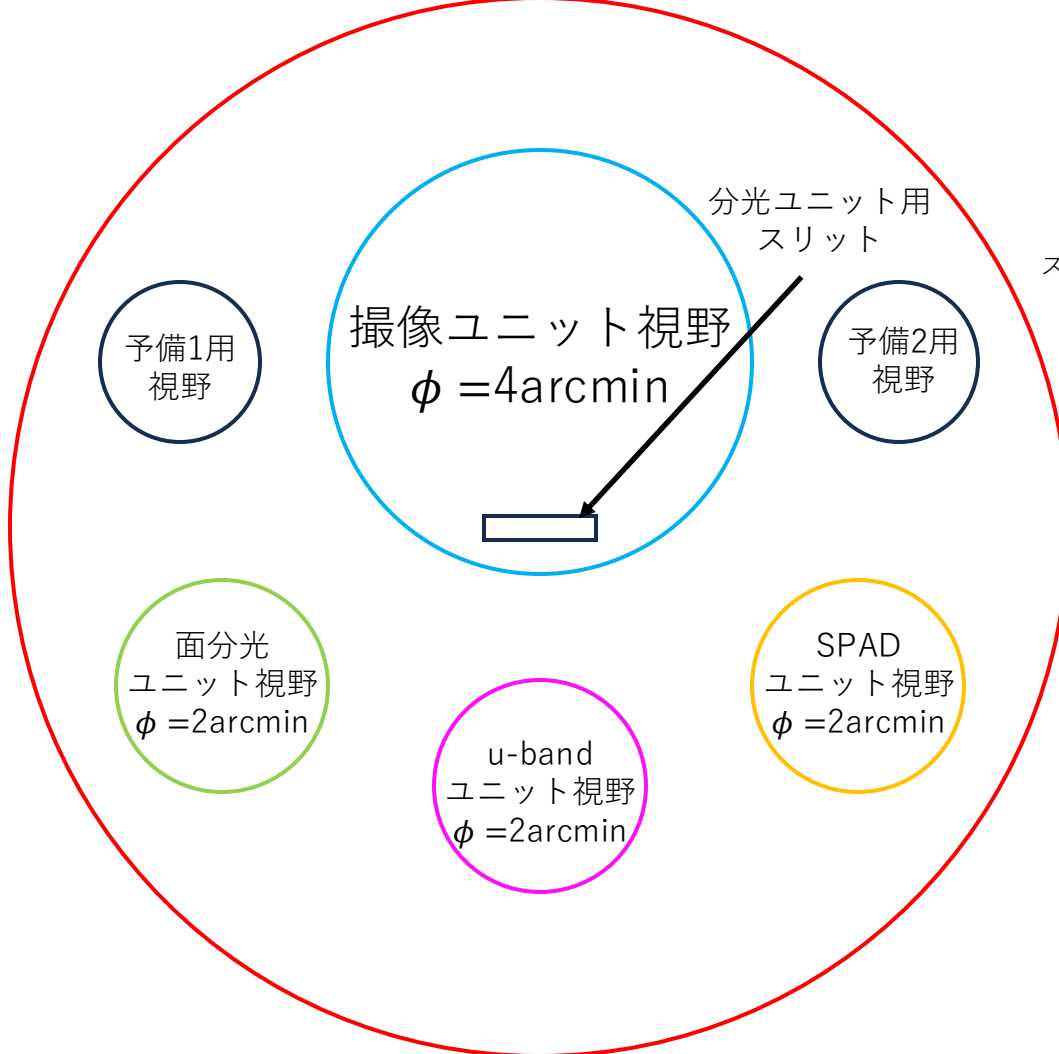
- TAO望遠鏡
 - 東京大学がチリのチャントール山(標高5640m)に建設
 - 口径6.5m、可視～中間赤外の観測に用いる
 - 大気透過率が高い
- 観測装置
 - 赤外装置:MIMIZUKU、SWIMS、NICE
 - 可視光装置を酒向グループで開発中
 - ベントカセグレン焦点に設置予定
 - CMOS、SPADセンサーを用いて、**msタイムスケールでの高速観測を目指す**



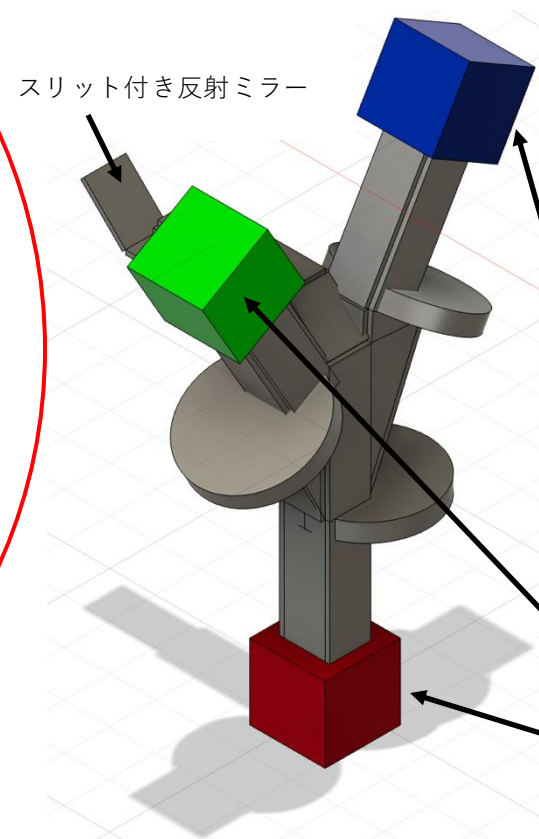
東京大学

TAO6.5m望遠鏡用可視光観測装置

望遠鏡側から見た可視光装置視野($\phi = 10\text{arcmin}$)



撮像ユニットの概要



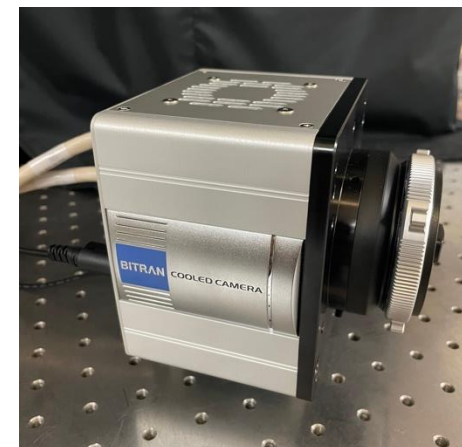
- 複数のユニットを搭載し、視野分割を行う

- 撮像ユニット:
g,r,iの3バンドでの撮像を行う
分光ユニットのスリット
ビューワーを兼ねる
- 分光ユニット:
撮像ユニットの焦点面におい
た平面鏡に開けたスリットで、
スリット分光を行う

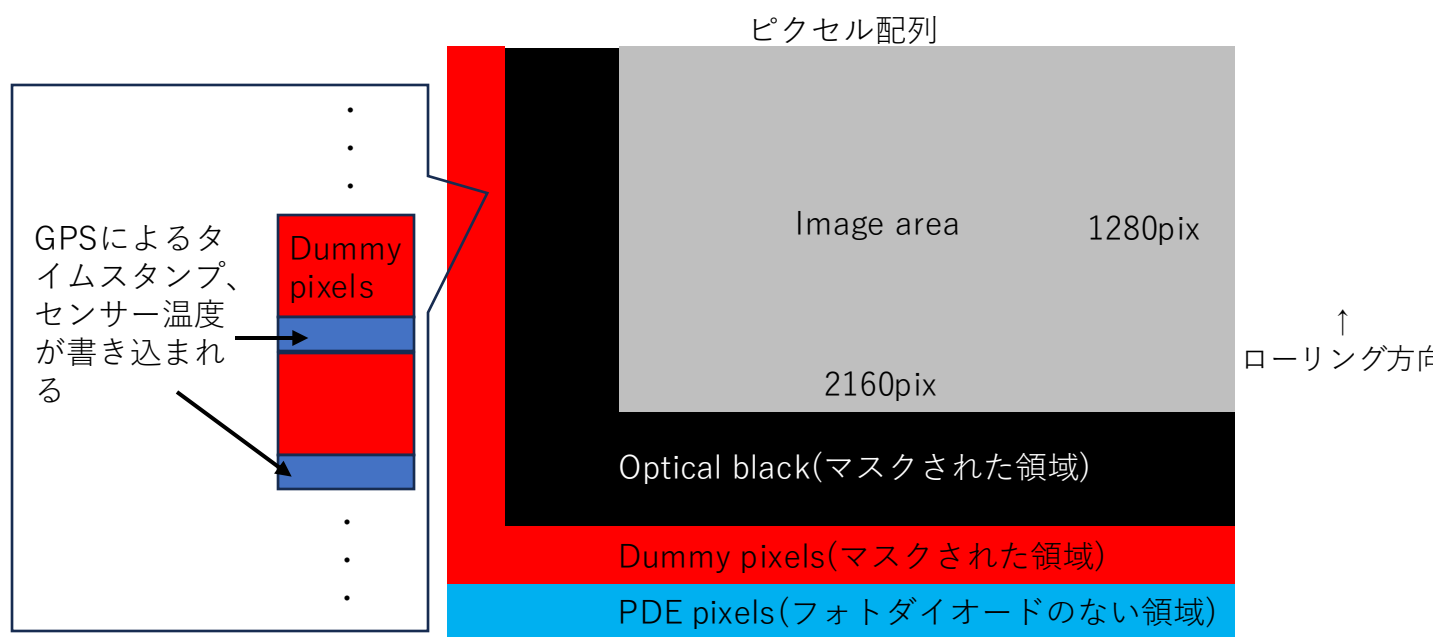
3台のCMOSカメラモジュールを搭載

CMOSカメラモジュール BH-67M

- ビットラン社製 LI3030SAM搭載冷却カメラ BH-67M
 - 画像にはGPSによるタイムスタンプが書き込まれる



撮影素子型番	LI3030SAM
有効ピクセル	2160x1280
ピクセルサイズ	19um
対応波長領域	350~1000nm
ゲイン	1,2,4,8,16,32倍
フレームレート	98.0fps(フルフレーム)
冷却方法	2段ペルチェ、強制空冷
冷却温度	外気温から-30~-40℃



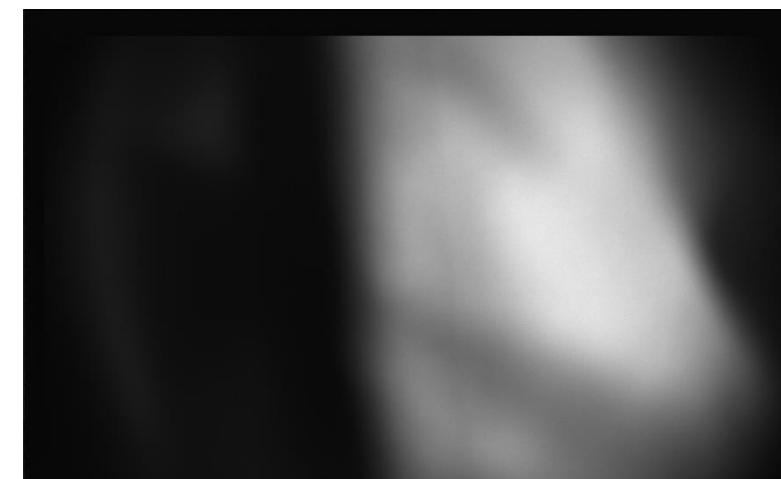
実験1のセットアップとデータセット①

- データ取得条件
 - ゲイン32倍で撮像
 - 非一様にセンサーに光を入れて、複数のフレームを取得
 - センサー温度は0°Cに固定
 - センサー温度はカメラモジュールのコマンドで制御
- 取得したデータセット①

センサー温度	露光時間と枚数
0°C	30ms x100



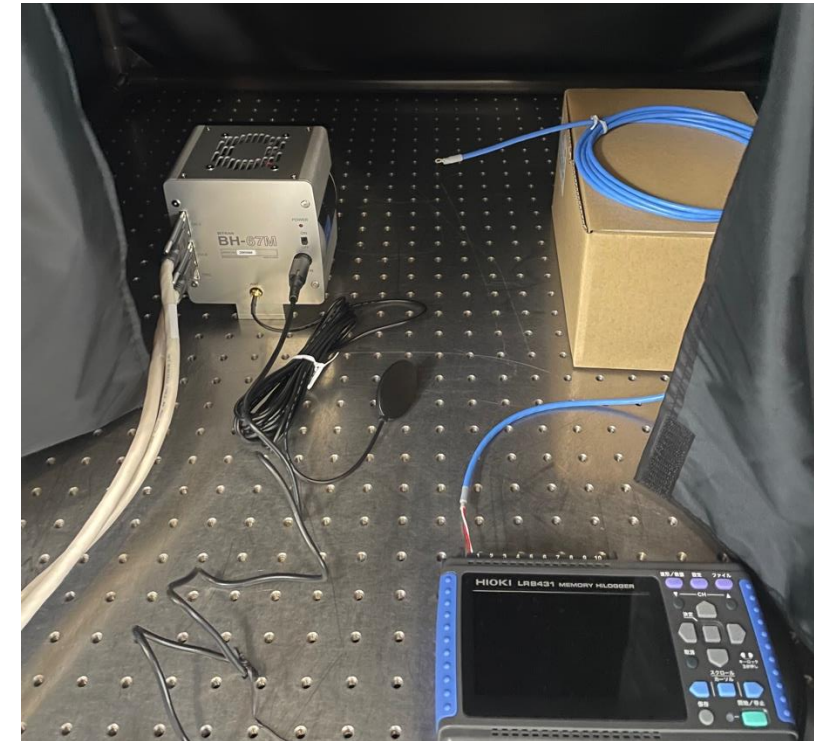
取得したフレーム



実験1のセットアップとデータセット②

- データ取得条件
 - ゲイン32倍で撮像
 - 各露光時間、温度に対して暗室内で複数のダークフレームを取得
- 取得したデータセット②

センサー温度	露光時間と枚数
0°C	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-5°C	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-10°C	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-15°C	温度安定せず(@室温26°C程度)→このセンサーは外気温-40°Cまでしか冷却できない

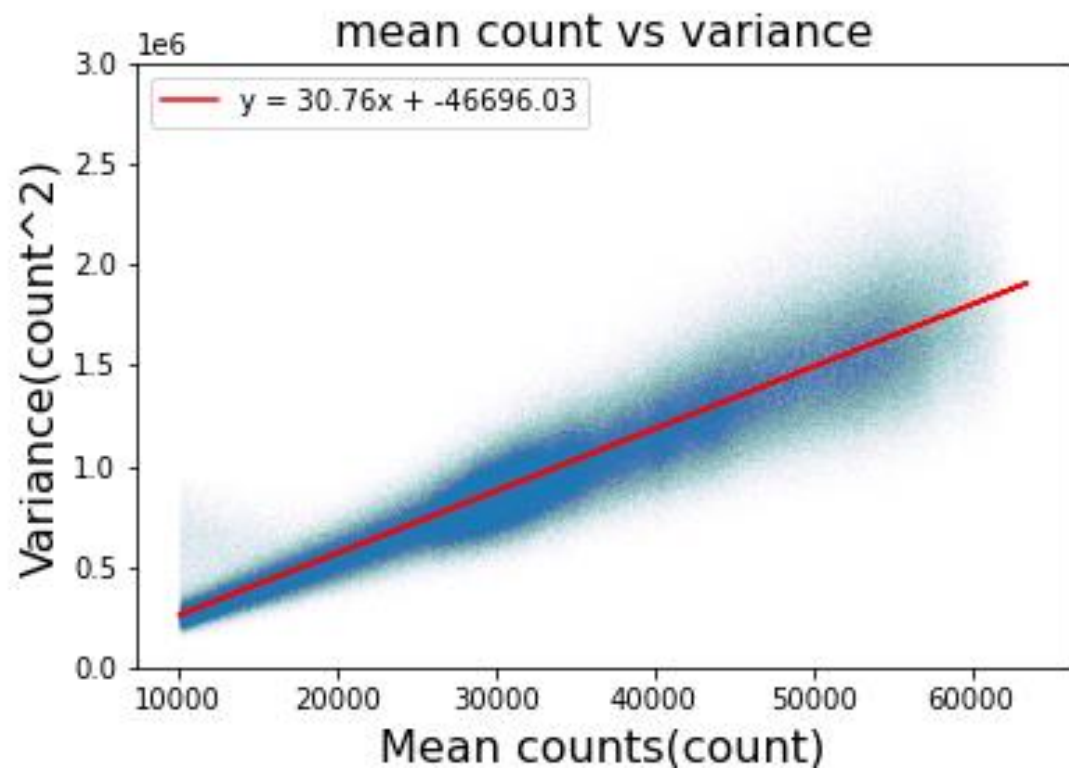


実験1の評価項目

- 以下の4つの項目について評価を行った
- データセット①
 - ゲイン32倍の時の、カウントと電子数の変換係数
- データセット②
 - 各温度でのダークカレント
 - 各温度での読み出しノイズ
 - -10°Cにおける、ピクセル間の読み出しノイズ：2フレームの差分画像を10pix x 10pixの格子に分割し、各格子でのカウントの標準偏差を計算

カウントと電子数の変換係数

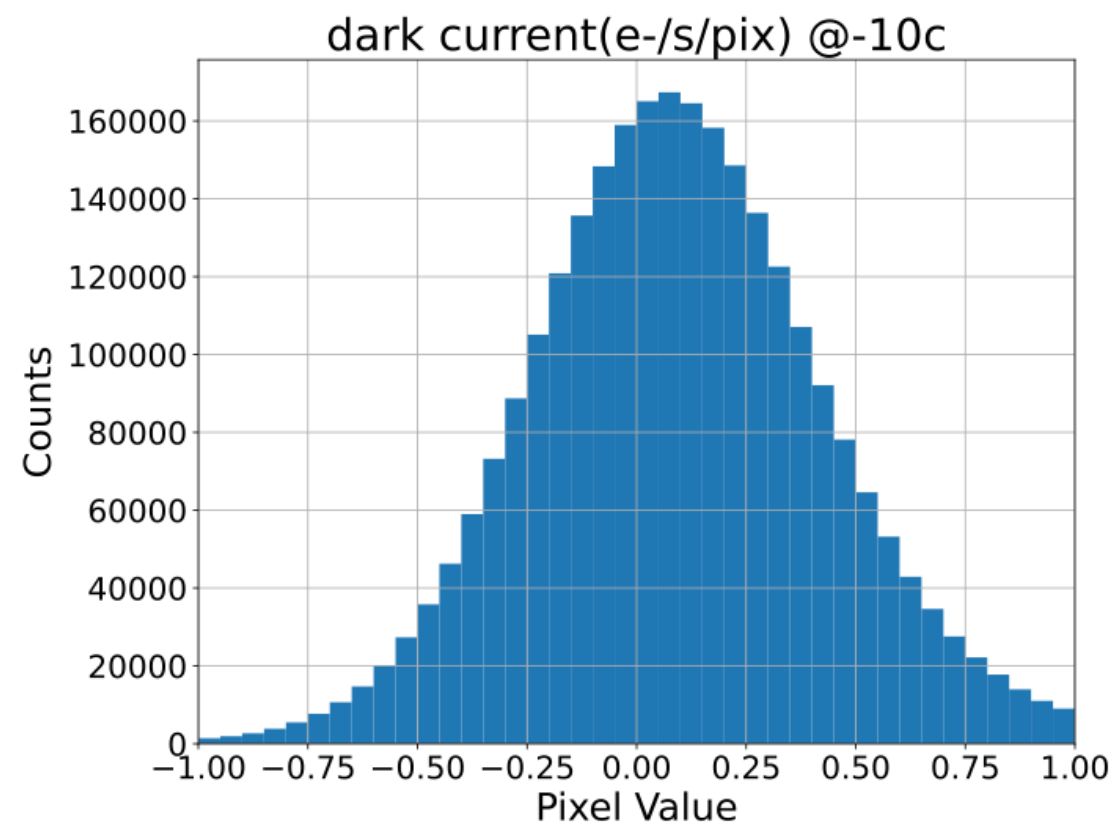
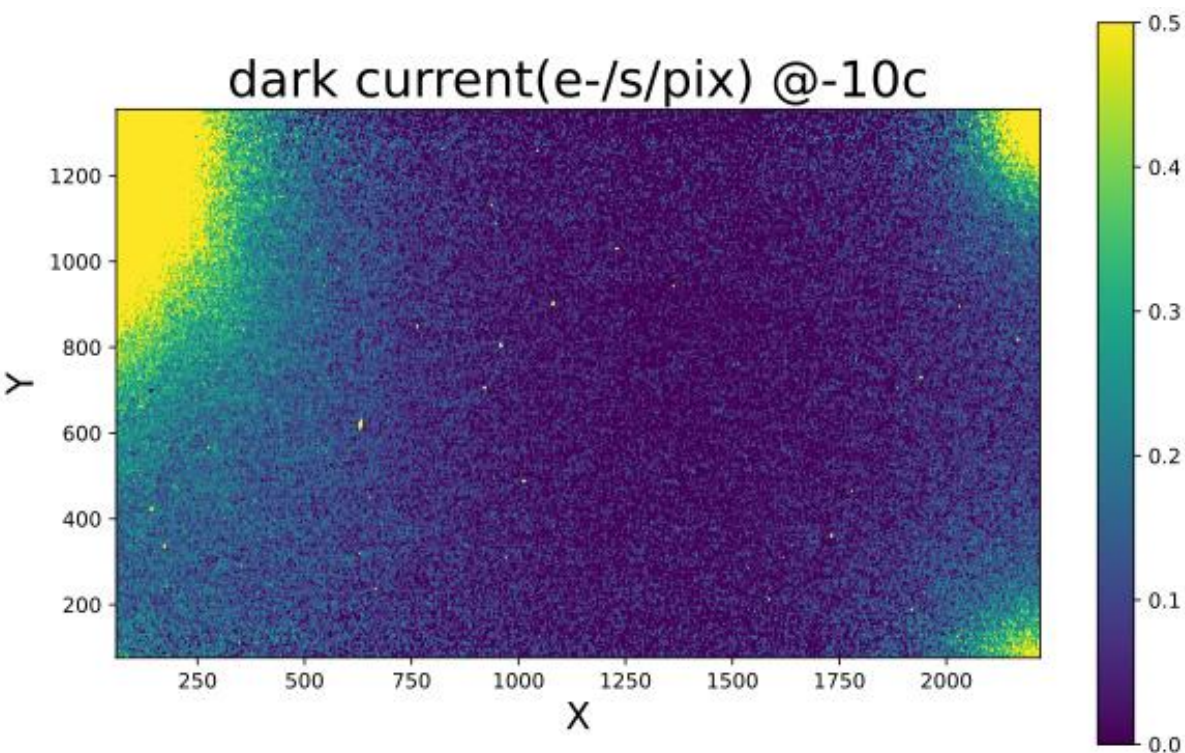
- 100フレームのカウント平均値が10000以上のピクセルに対し、カウントの平均値と分散をプロット



- フィッティングにより、ゲイン32倍に設定した時の実際のゲインの値は30.76と見積もられる
- ゲイン32倍に設定した時、1countは $0.0325e^-$ に相当

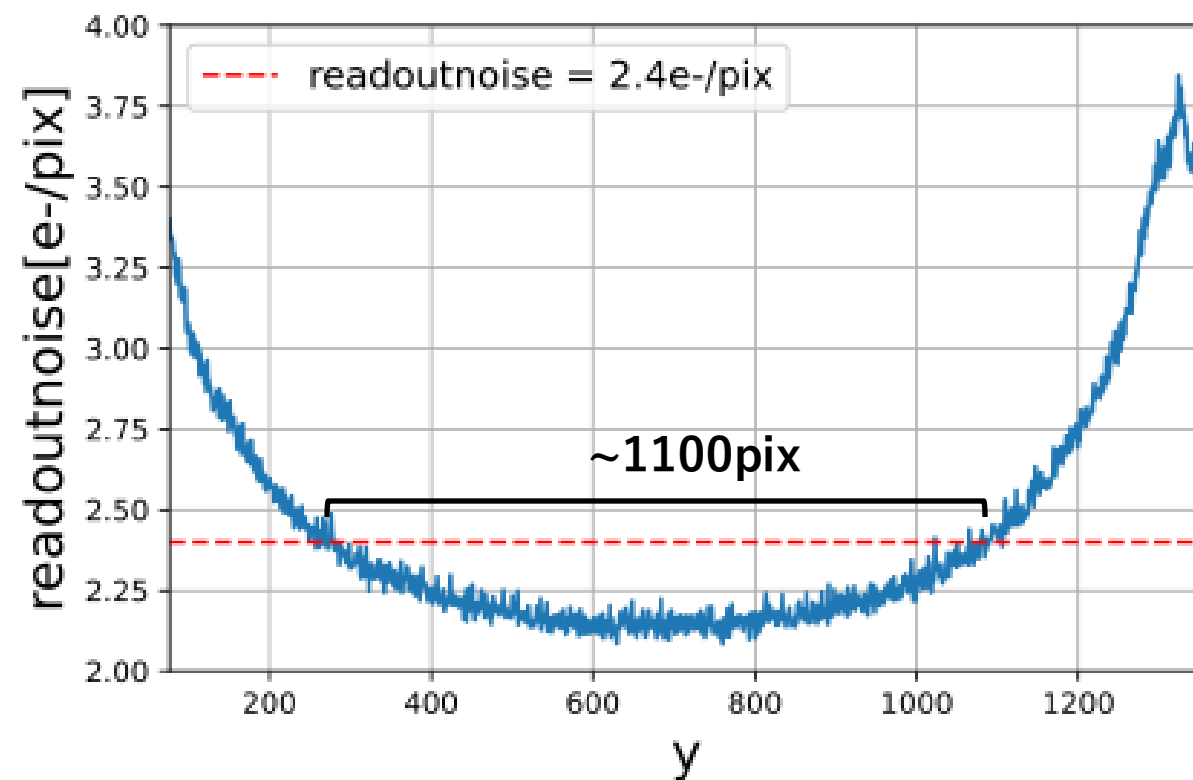
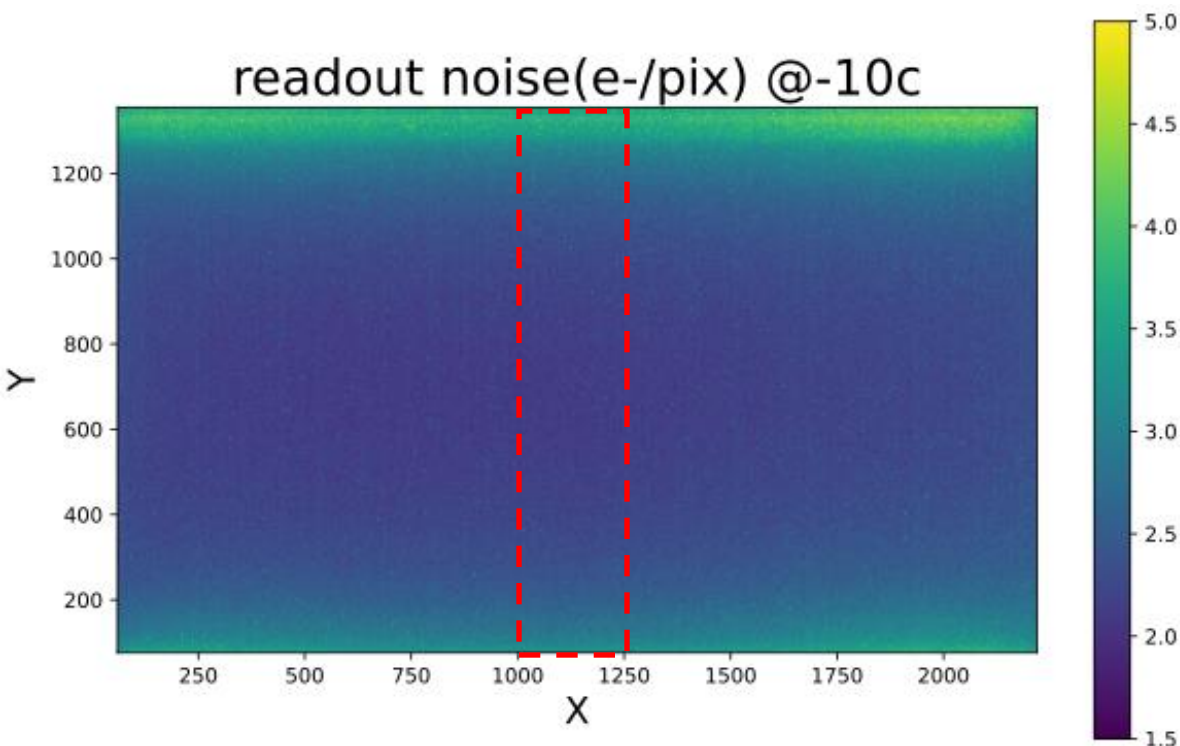
-10°Cでのダークカレント

- ダークカレントの最頻値は $0.093\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$



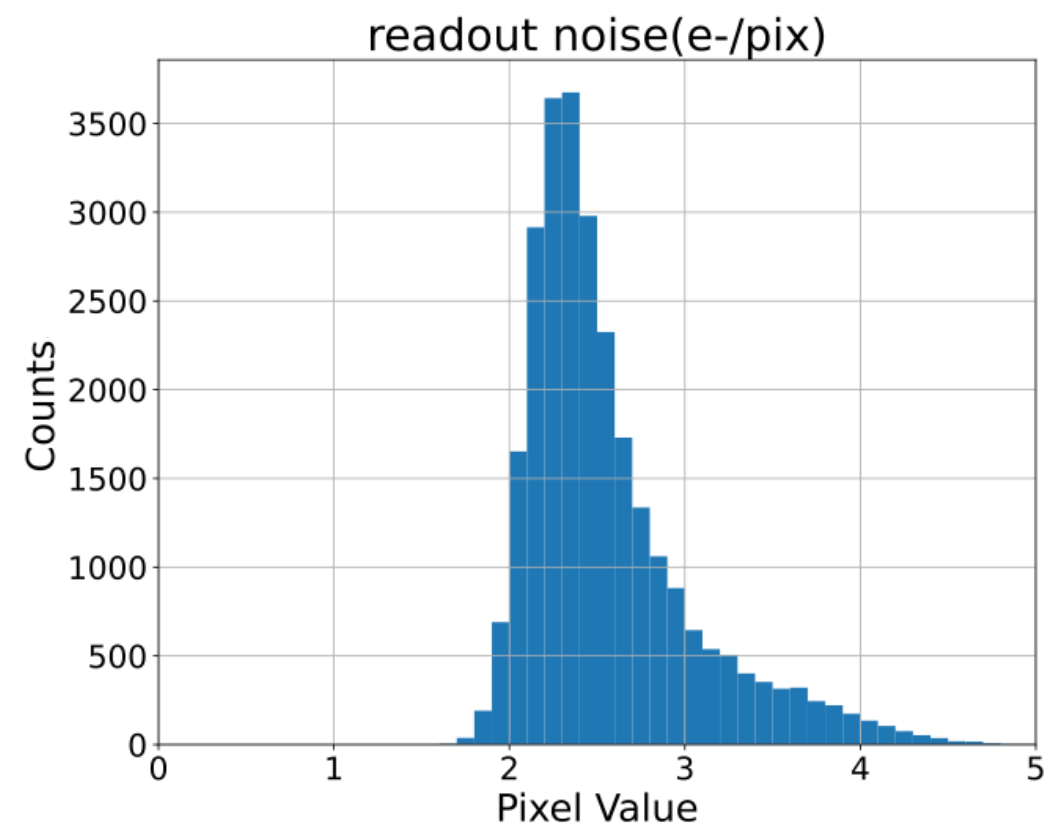
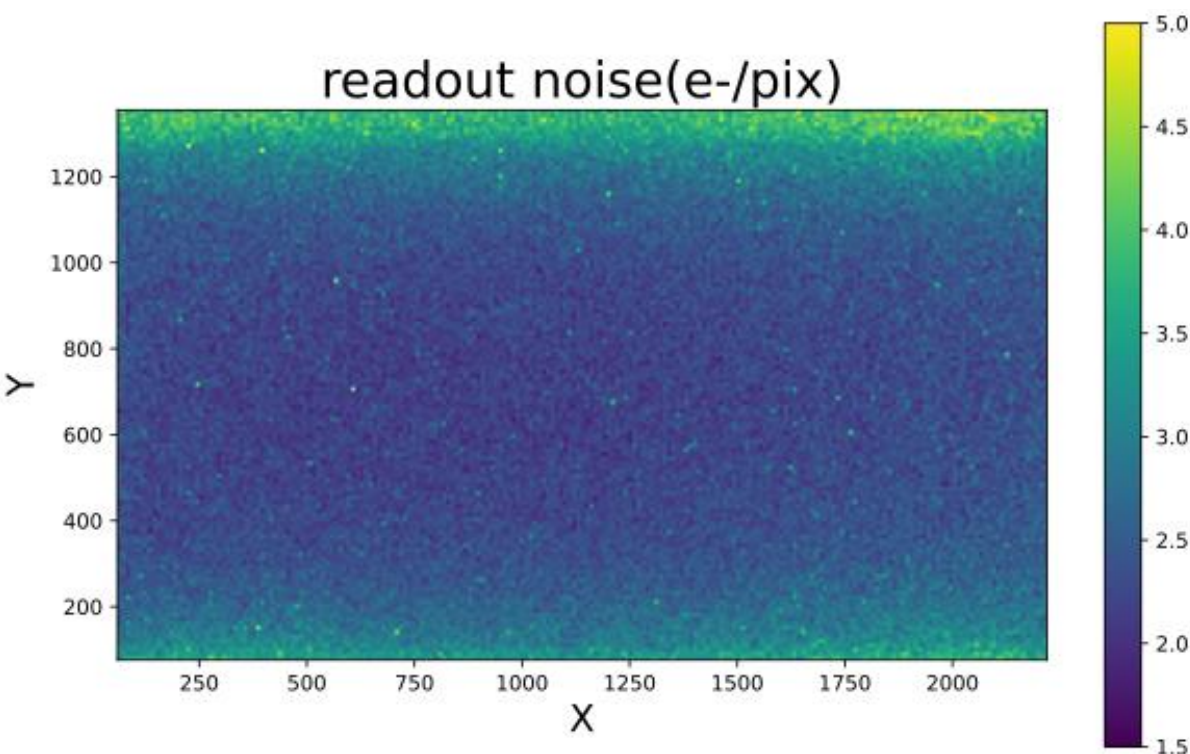
-10°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.2e^-/\text{pix}$



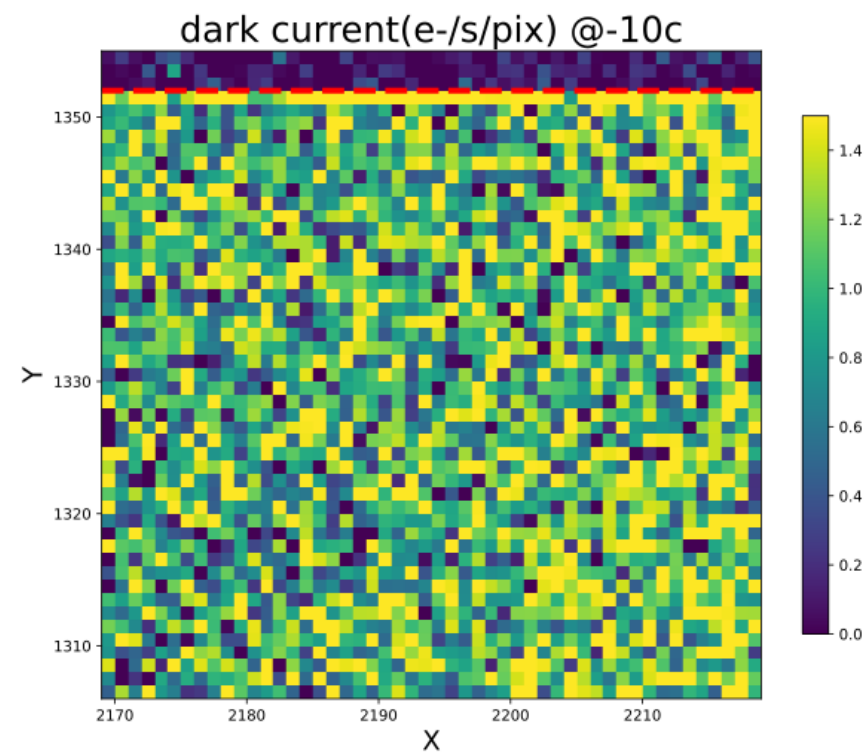
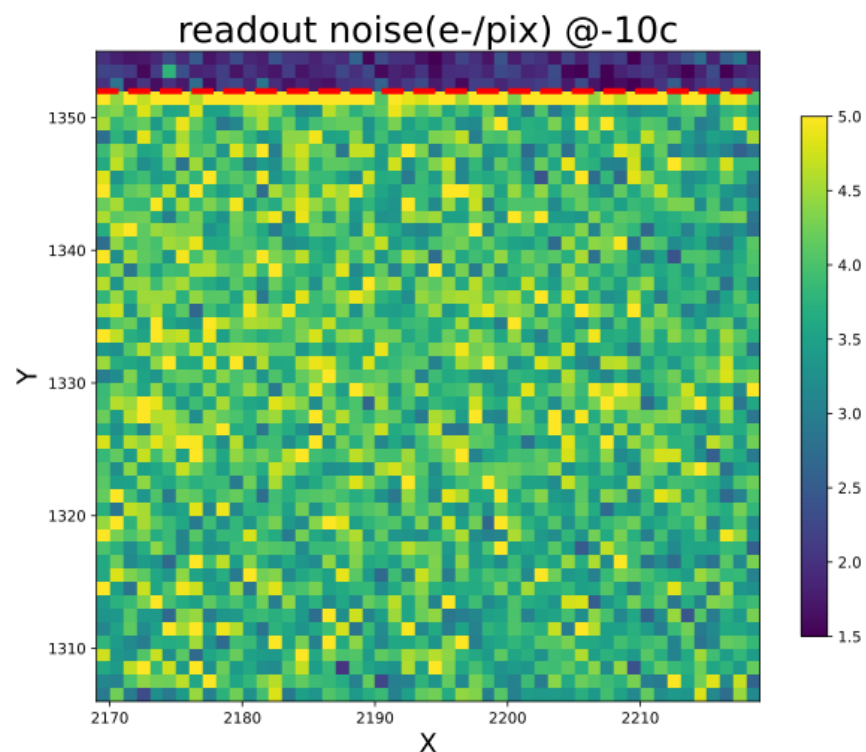
-10°Cでのピクセル間の読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.3e^-/\text{pix}$

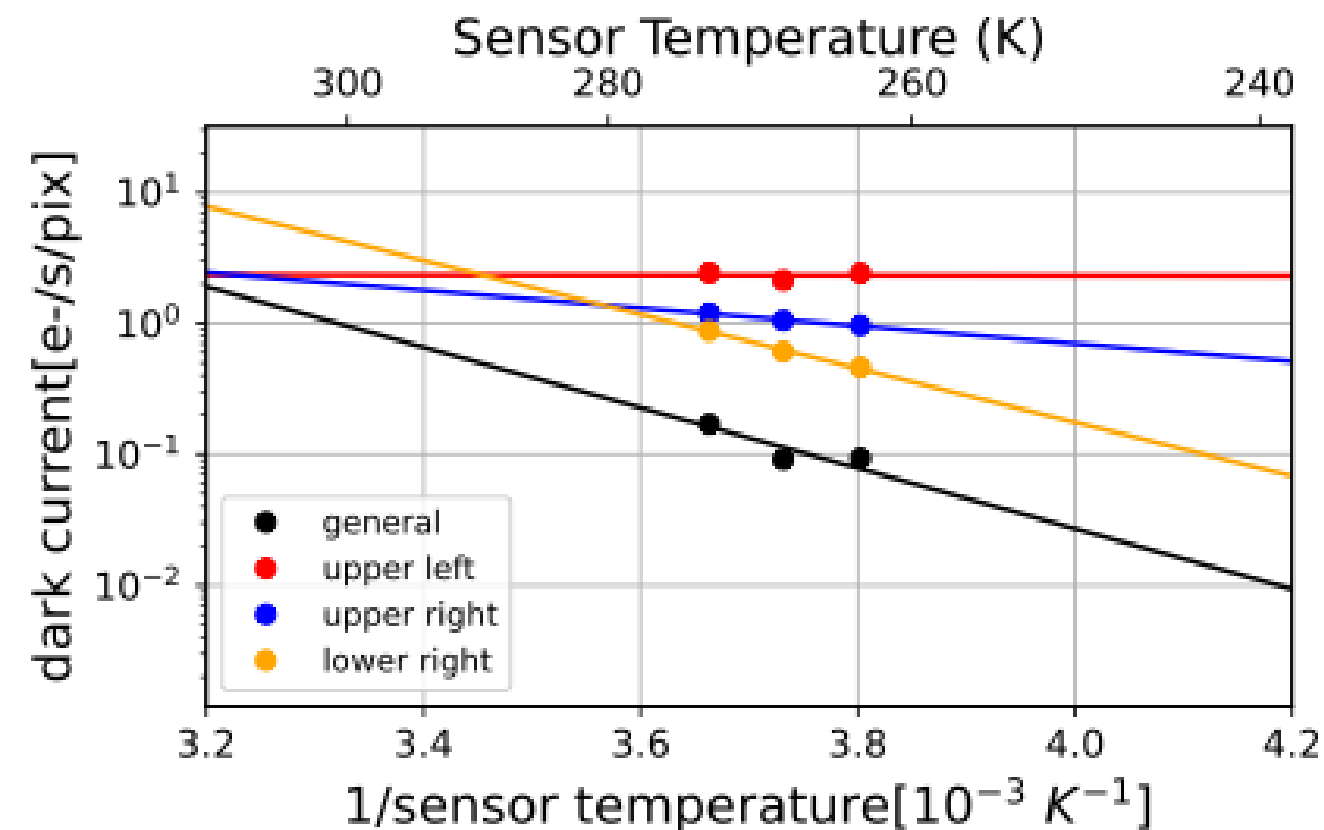


読み出しノイズとダークカレントの起源

- センサー下側に存在するPED pixelsに対しても、読み出しノイズとダークカレントを求めた
 - フォトダイオード起源であることを示唆している



ダークカレントの温度依存性

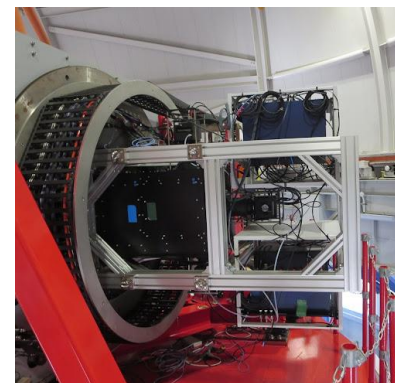


- センサー温度の低下に伴い、ダークカレントは減少
 - 熱的な励起が主要因と考えられる
- センサーの右上、左上の領域では、ダークカレントの温度依存性が低い
 - 他の要因でダークカレントが発生していると考えられる

実験2のセットアップとデータセット

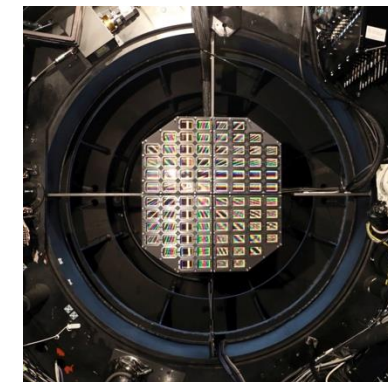
- TriCCS、Tomo-e Gozenにおいて複数のダークフレームを取得した
 - TAOのセンサーはTriCCS赤感と同じもので、読み出し回路が異なる
- 取得したデータセット

TriCCS



京都大学

Tomo-e Gozen

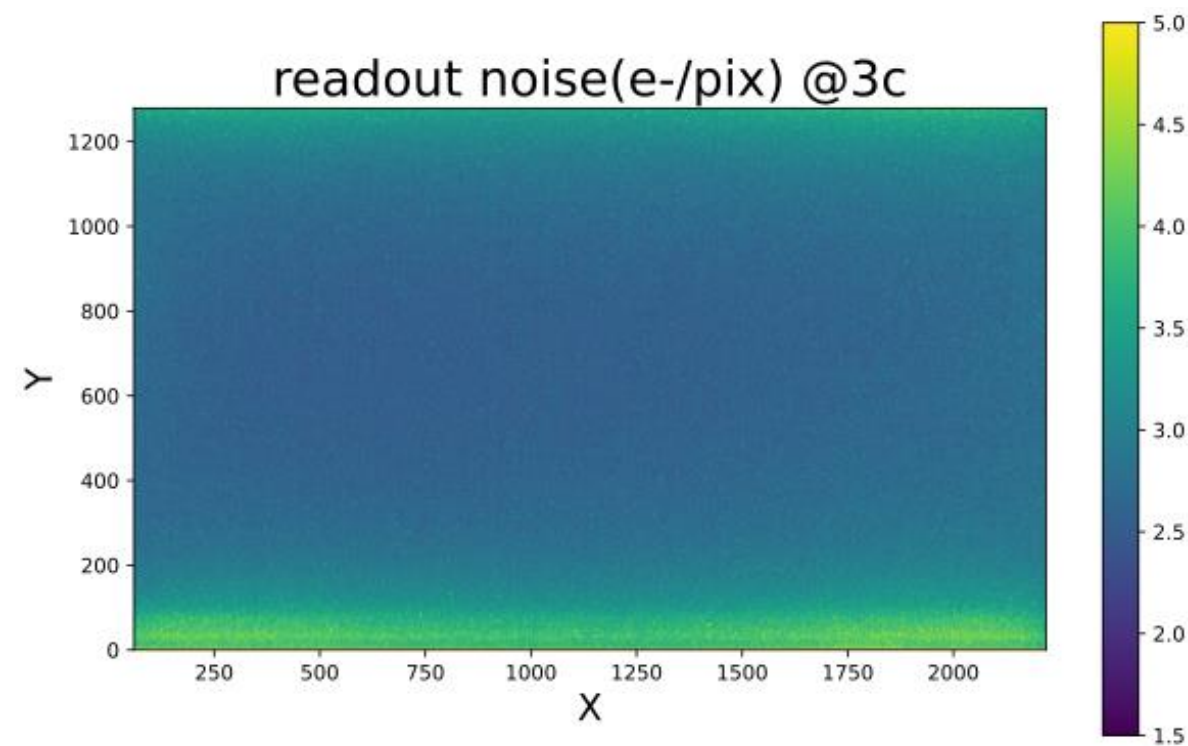
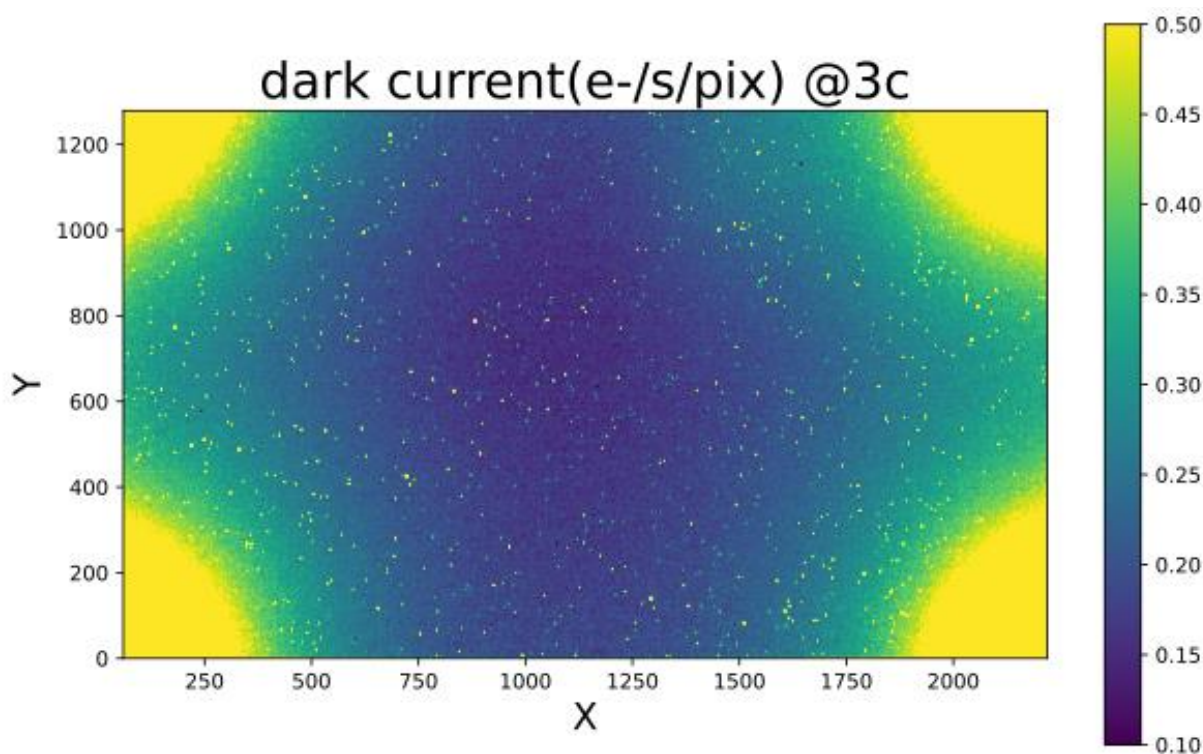


東京大学

装置名	センサー型番	ゲイン	センサー温度	露光時間と枚数	備考
TriCCS	LI3030SAM	16倍	3°C	41ms x30, 92ms x30, 295ms x30, 498ms x30, 1s x30, 3s x30, 10s x30	長波長側で量子効率の良いもの(赤感)
TriCCS	35MMFHDXSMA	16倍	3°C	41ms x30, 92ms x30, 295ms x30, 498ms x30, 1s x30, 3s x30, 10s x30	Tomo-eのセンサーの改良版(青感)
Tomo-e Gozen	35MMFHDXM	16倍	10°C	500ms x 100, 1s x50, 2s x25, 5s x10, 10s x5	

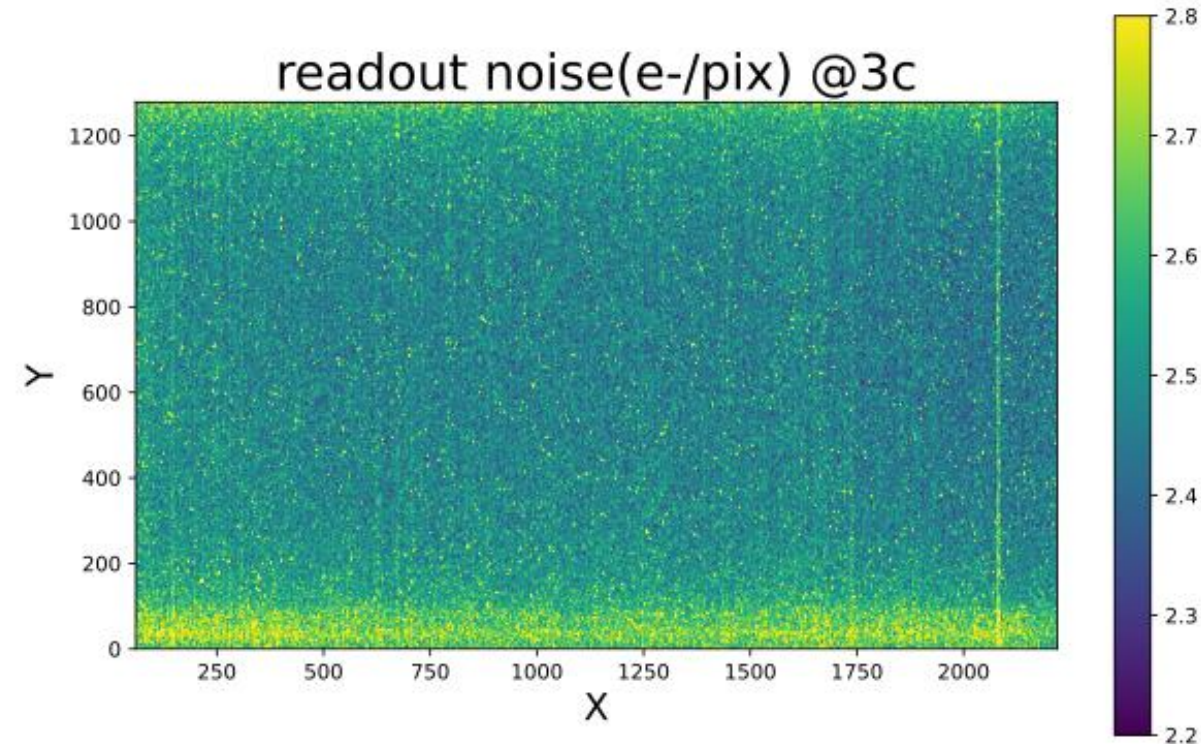
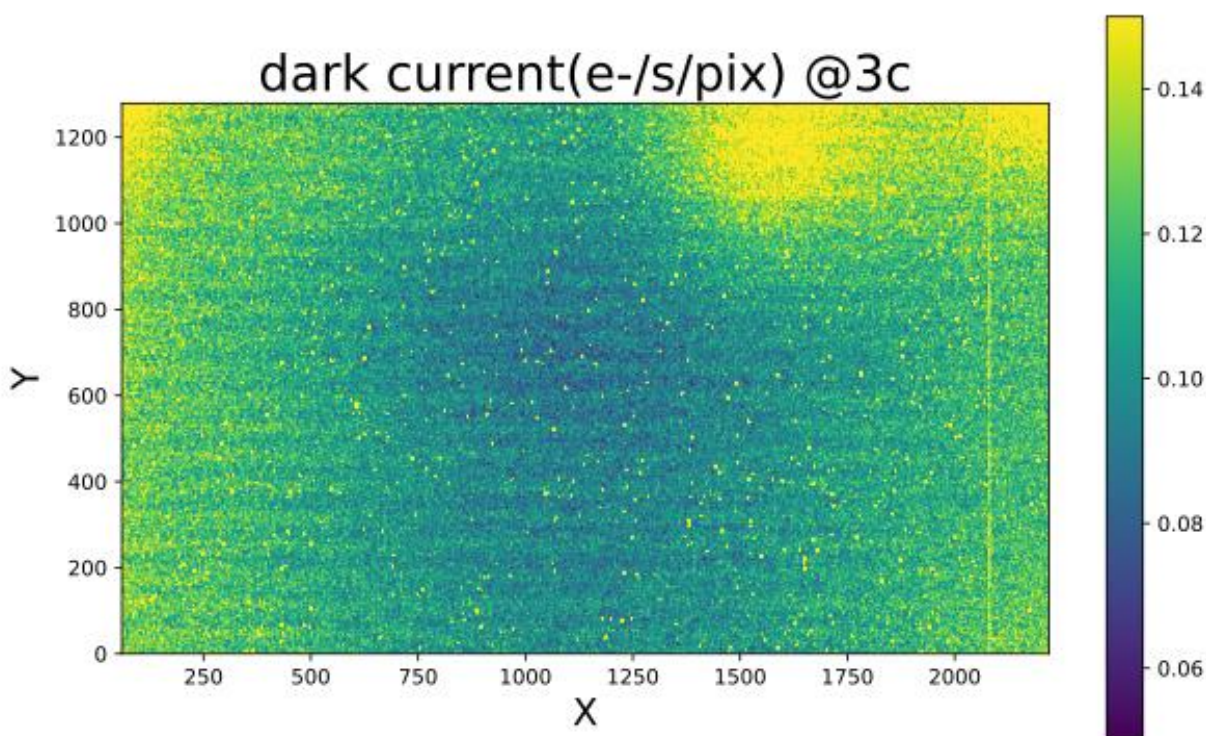
TriCCS(赤感)のダークカレントと読み出しノイズ

- ダークカレントの典型値は $0.23\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$ 、読み出しノイズの典型値は $2.6\text{e-}/\text{pix}$



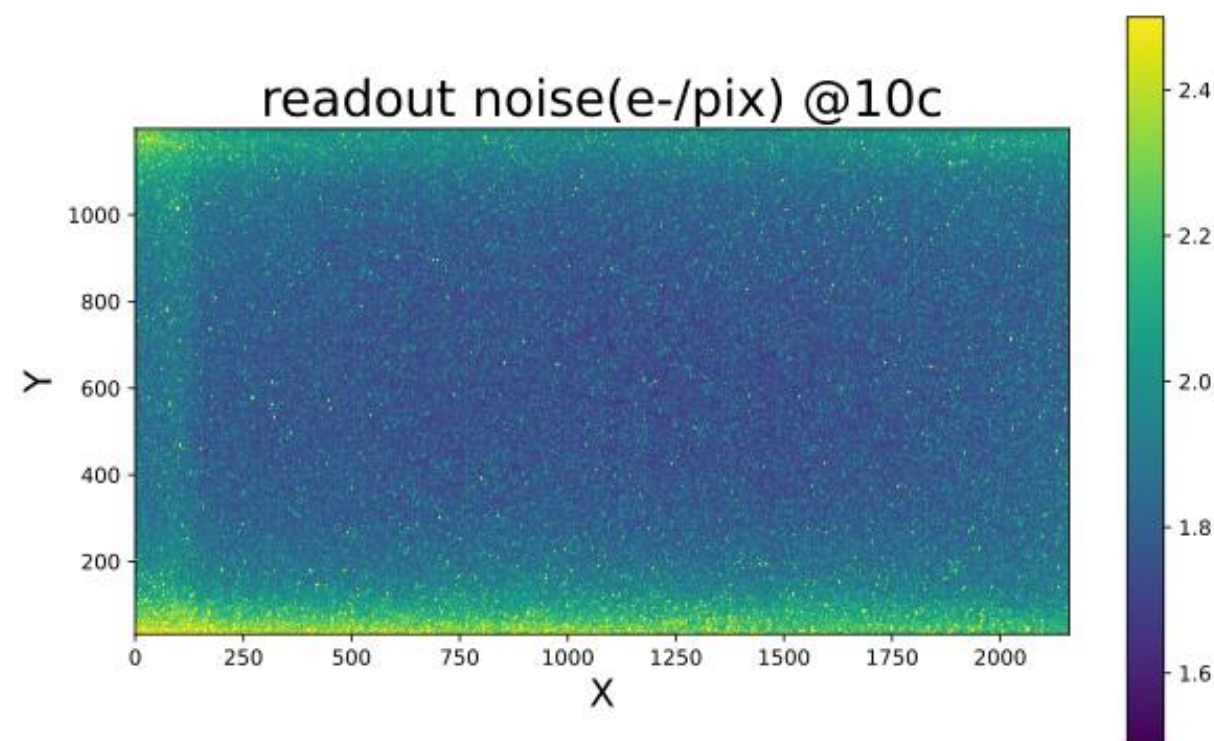
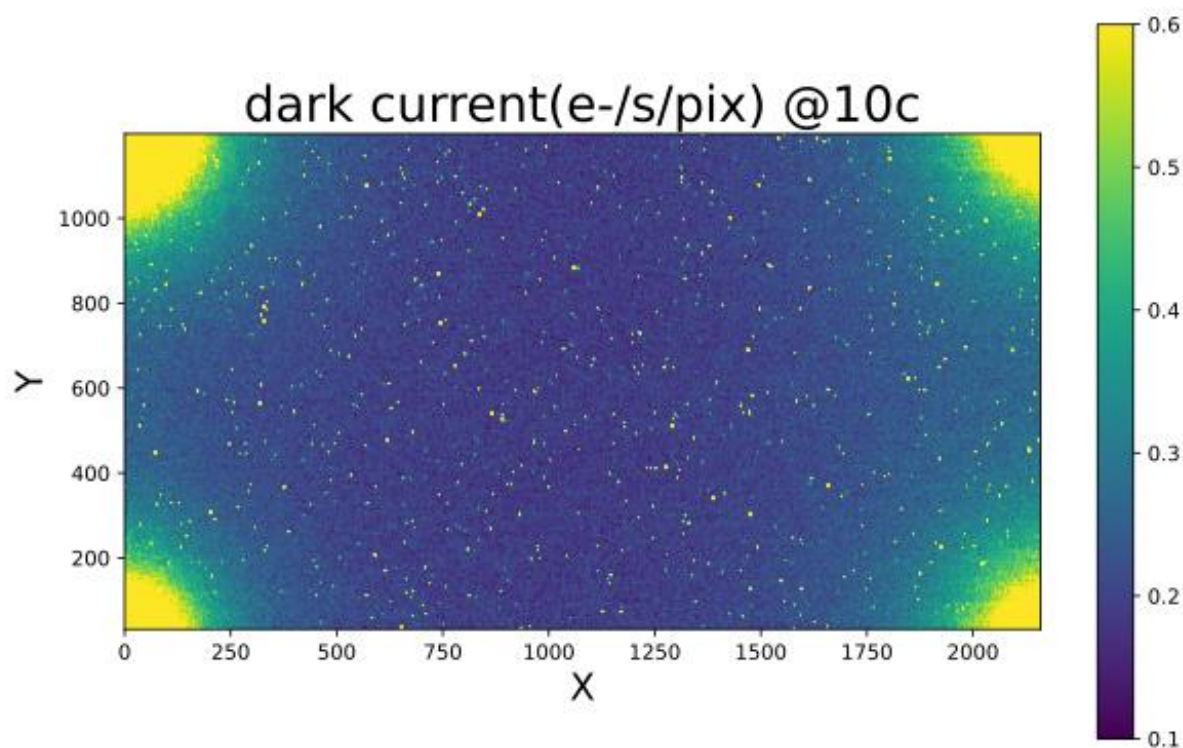
TriCCS(青感)のダークカレントと読み出しノイズ

- ダークカレントの典型値は $0.10\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$ 、読み出しノイズの典型値は $2.4\text{e-}/\text{pix}$



Tomo-e Gozenのダークカレントと読み出しノイズ

- ダークカレントの典型値は $0.23\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$ 、読み出しノイズの典型値は $1.7\text{e-}/\text{pix}$

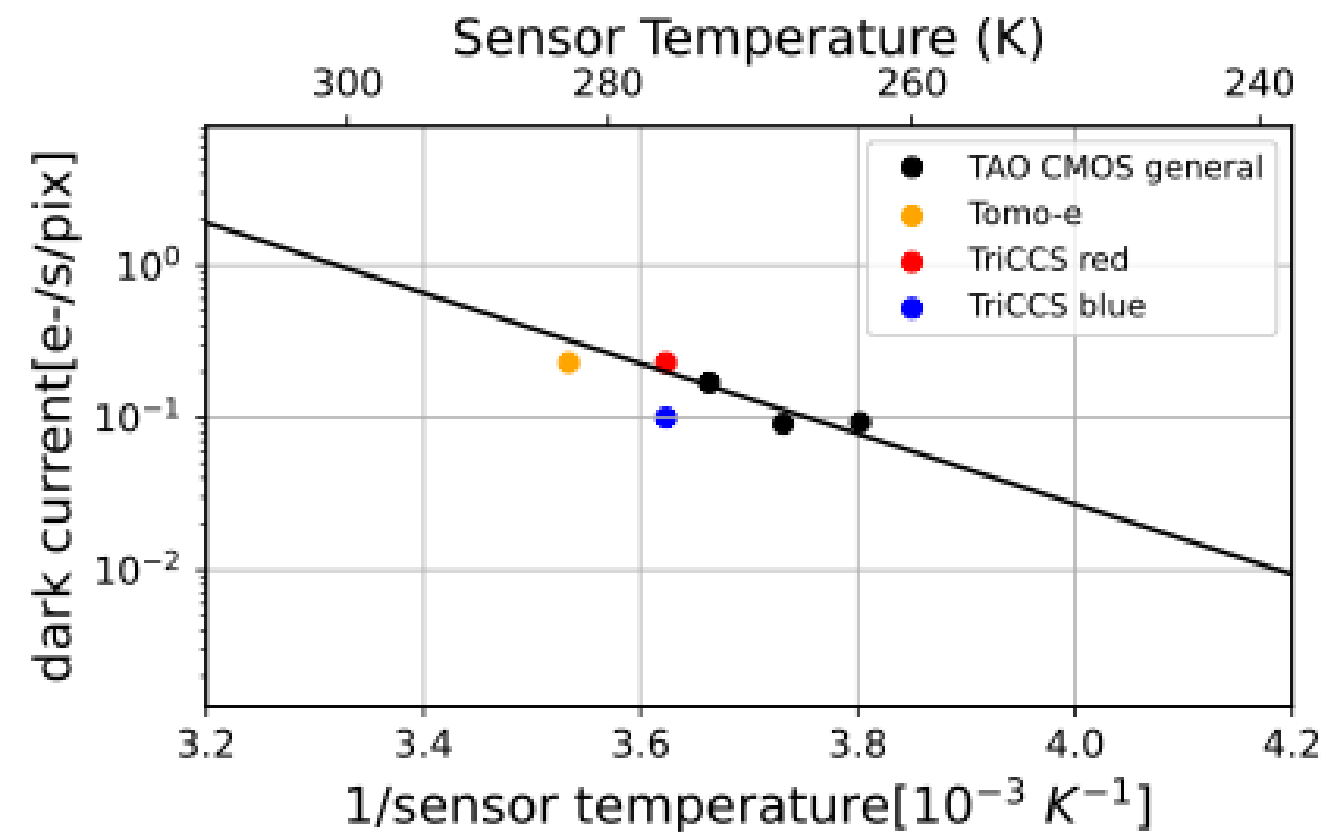


読み出しノイズの比較

- 全てのセンサーにおいて、センサーの上下で読み出しノイズが高い分布が見られた
 - Tomo-e Gozenは低速読み出しを行っているため、読み出しノイズが低いと考えられる

装置名	センサー温度	読み出しノイズの典型値	端での読み出しノイズ
TAOカメラモジュール	-10°C	2.2e-/pix	>2.75e-/pix
TriCCS(赤感)	3°C	2.6e-/pix	>3e-/pix
TriCCS(青感)	3°C	2.4e-/pix	>2.5e-/pix
Tomo-e Gozen	10°C	1.7e-/pix	>1.9e-/pix

ダークカレントの温度依存性



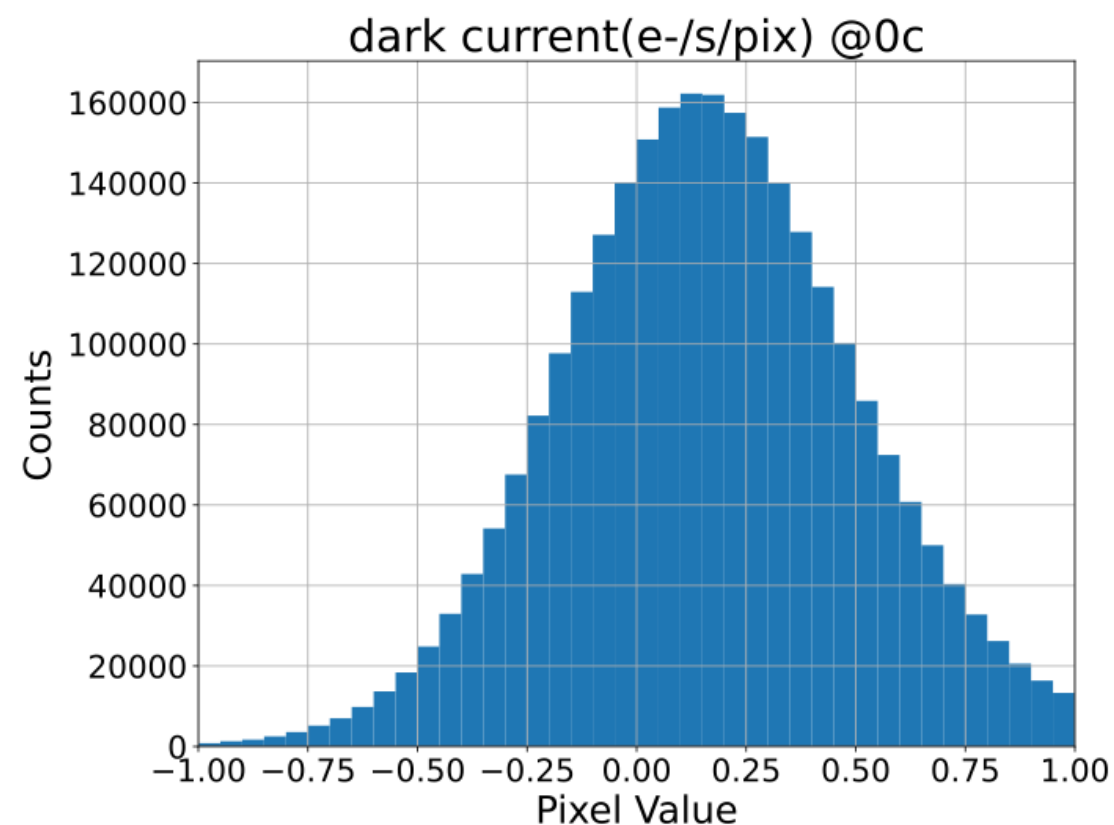
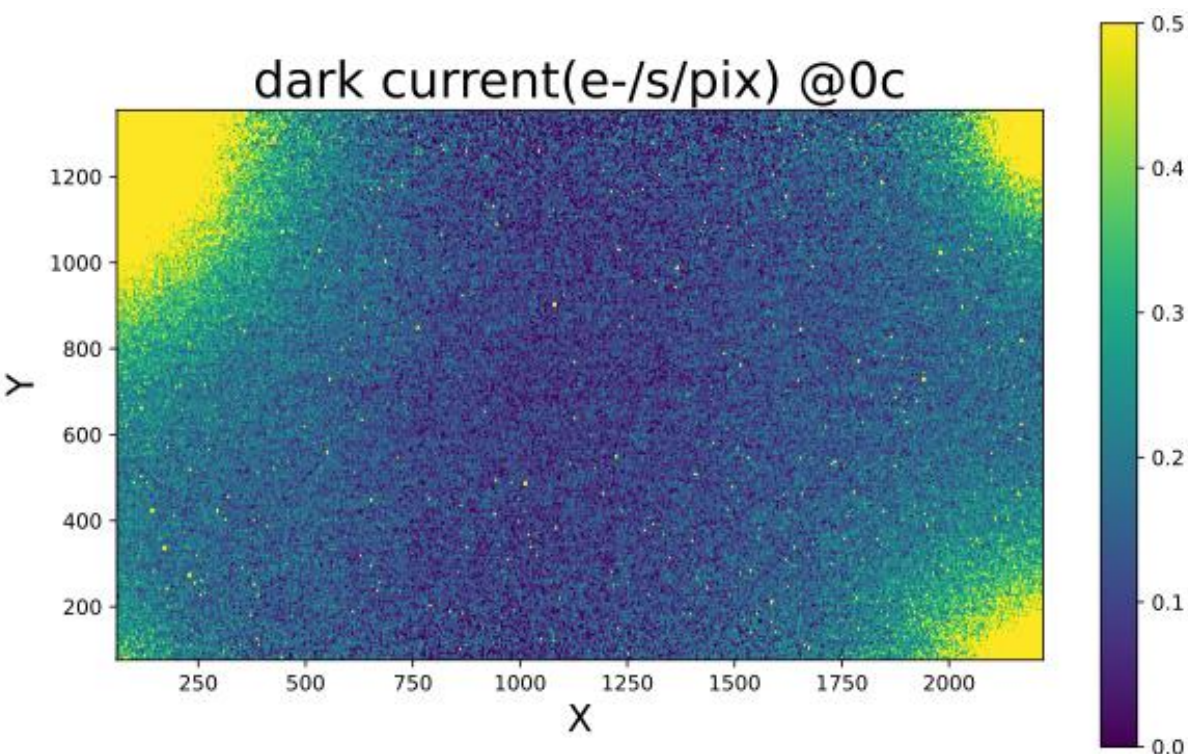
- TriCCS、Tomo-eのダークカレントの典型値をTAOカメラモジュールと比較
 - TAOカメラモジュールのダークカレントはTriCCS赤感およびTomo-eと同程度と言える
 - TriCCS青感はTAOカメラモジュールよりダークカレントが低い

まとめ

- TAO望遠鏡可視光装置で用いるCMOSカメラモジュールおよびTriCCS、Tomo-e GozenのCMOSセンサーの性能評価を行った
- ダークカレントはセンサーの4隅で高い値を取る
- 読み出しノイズはセンサーの上下端で高い値を取る
- TAOカメラモジュールのダークカレント、読み出しノイズはセンサー中央では良好な値を取る
- TAOカメラモジュールのセンサー左上におけるダークカレントはほぼ温度依存しない→原因の調査と改善が必要
- 線形性の評価や他のゲインでの評価は今後実施予定
- 今後、メーカーと議論しながら性能の改善に取り組む

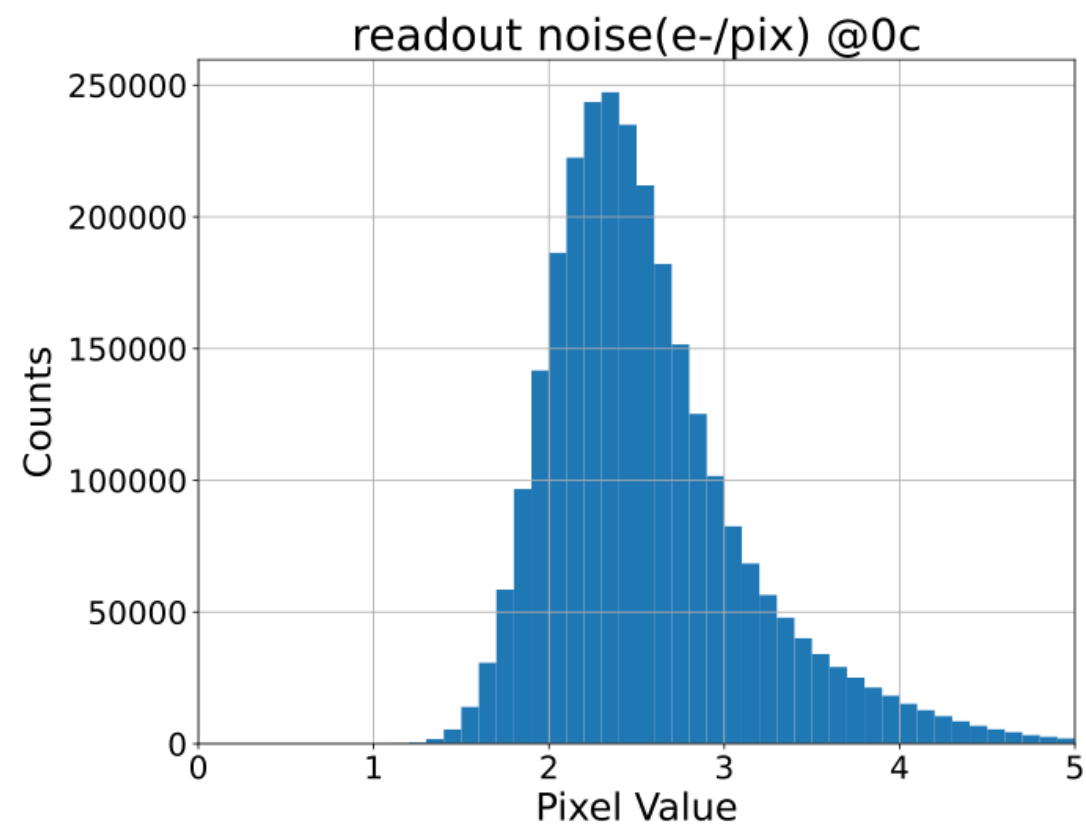
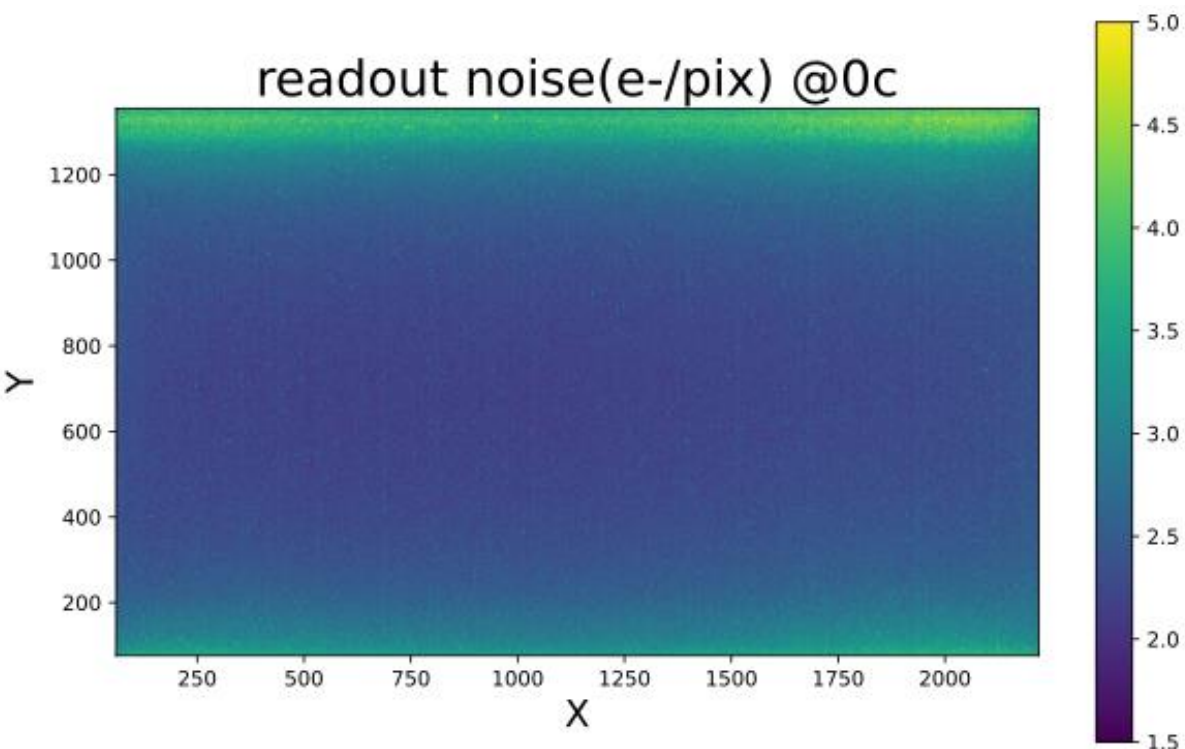
0°Cでのダークカレント

- ダークカレントの最頻値は $0.17\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$



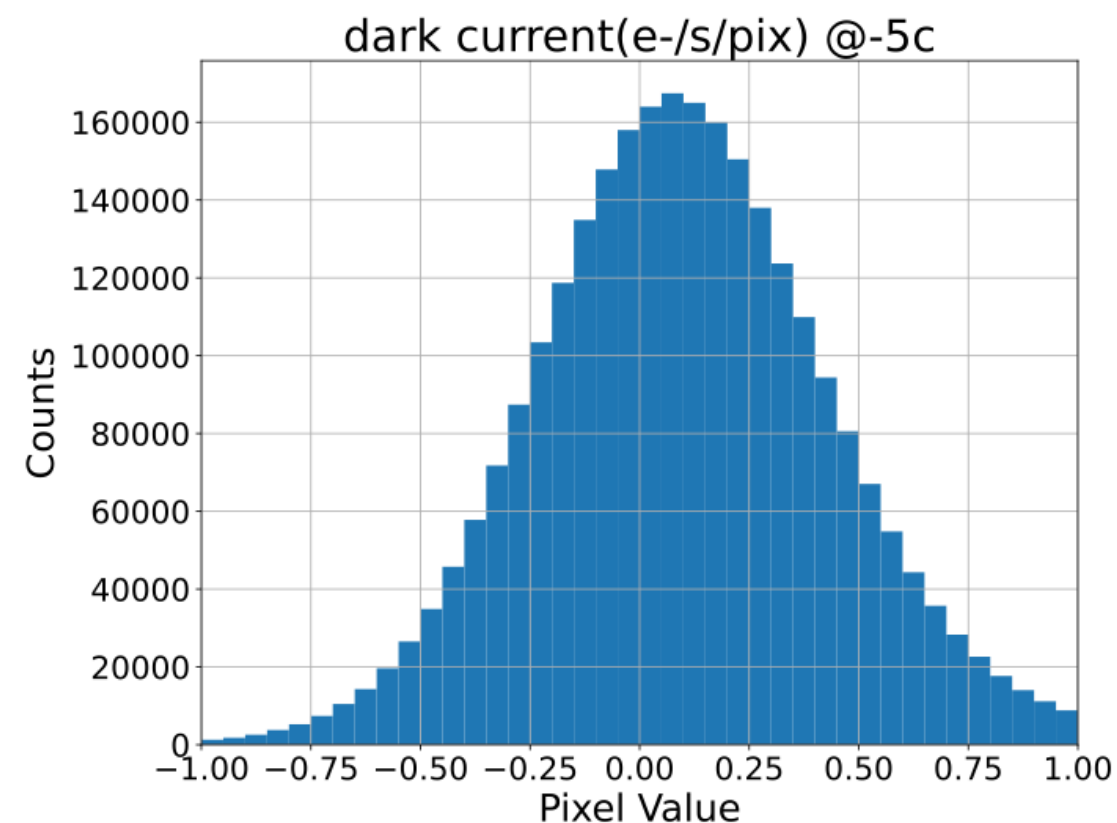
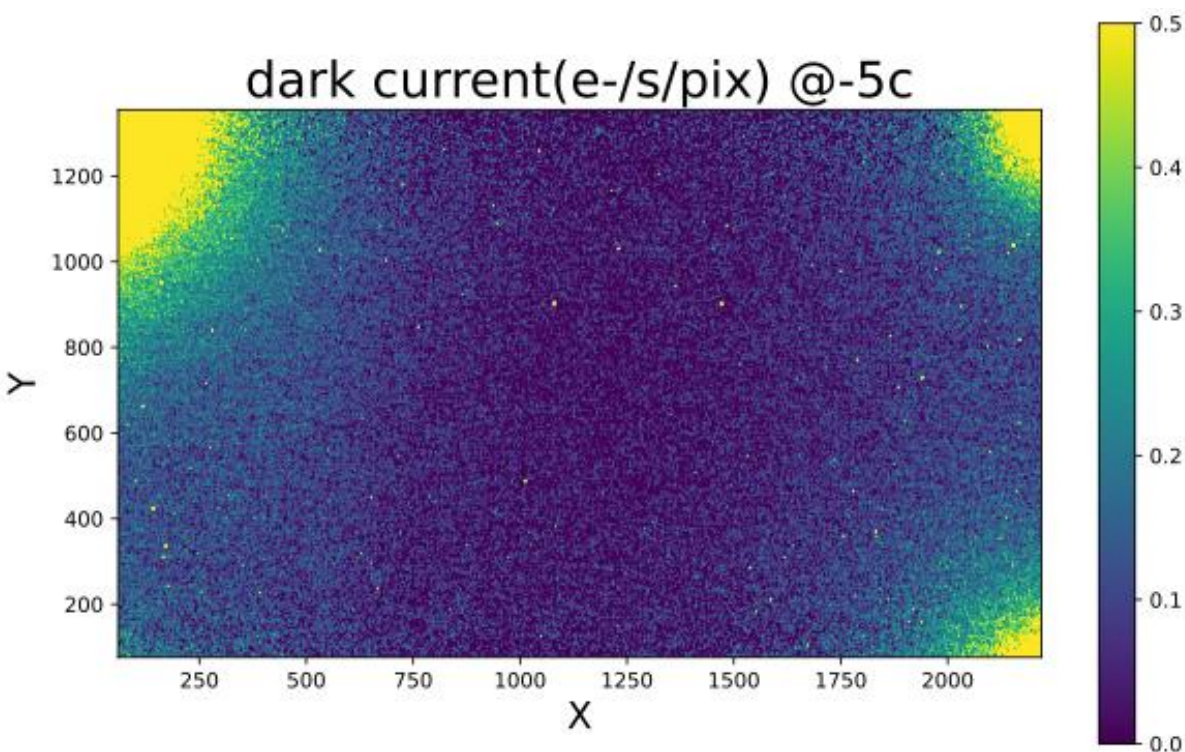
0°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.3e^-/\text{pix}$



-5°Cでのダークカレント

- ダークカレントの最頻値は $0.091\text{e-}/\text{s}/\text{pix}$



-5°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.2e^-/\text{pix}$

