

TAO望遠鏡可視光装置用CMOS カメラモジュールの性能評価

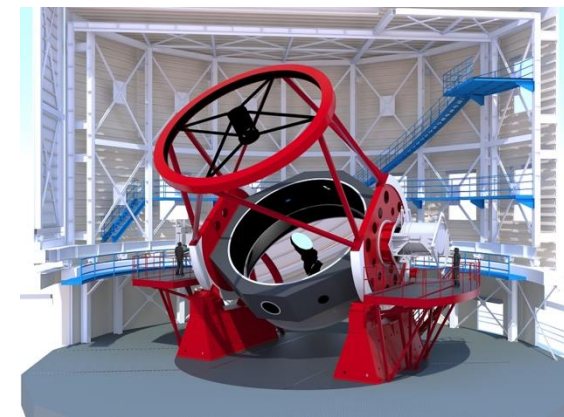
東京大学 理学系研究科 天文学専攻M1 兒玉工門

1. イントロダクション
2. CMOSカメラモジュールの概要
3. 評価実験
4. まとめ

1. **イントロダクション**
2. CMOSカメラモジュールの概要
3. 評価実験
4. まとめ

TAO6.5m望遠鏡

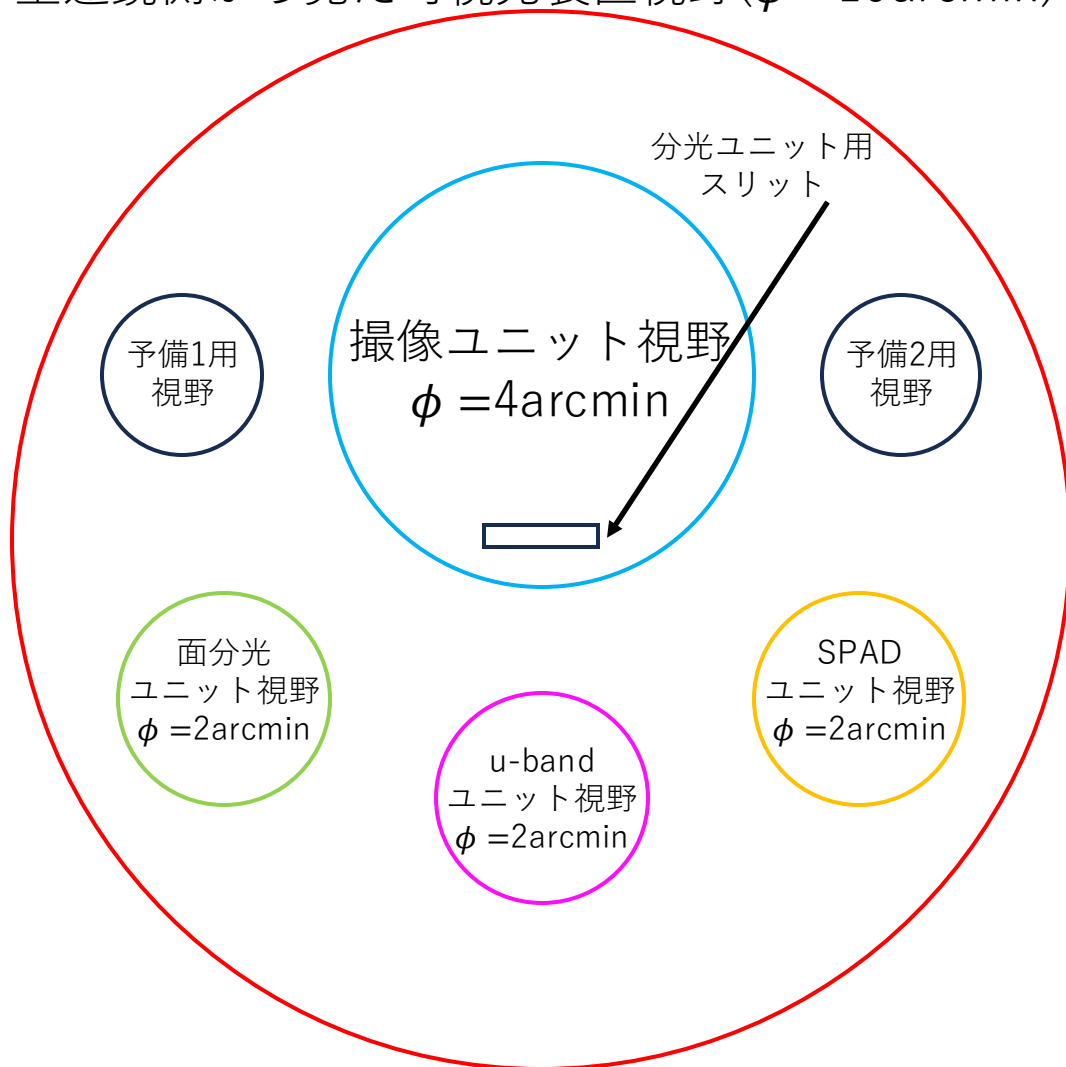
- TAO望遠鏡
 - 東京大学がチリのチャントール山(標高5640m)に建設
 - 口径6.5m、可視～中間赤外の観測に用いる
 - 大気透過率が高い
- 観測装置
 - 赤外装置:MIMIZUKU、SWIMS、NICE
 - 可視光装置を酒向グループで開発中
 - ベントカセグレン焦点に設置予定
 - CMOS、SPADセンサーを用いて、**msタイムスケールでの高速観測を目指す**



東京大学

TA06.5m望遠鏡用可視光観測装置

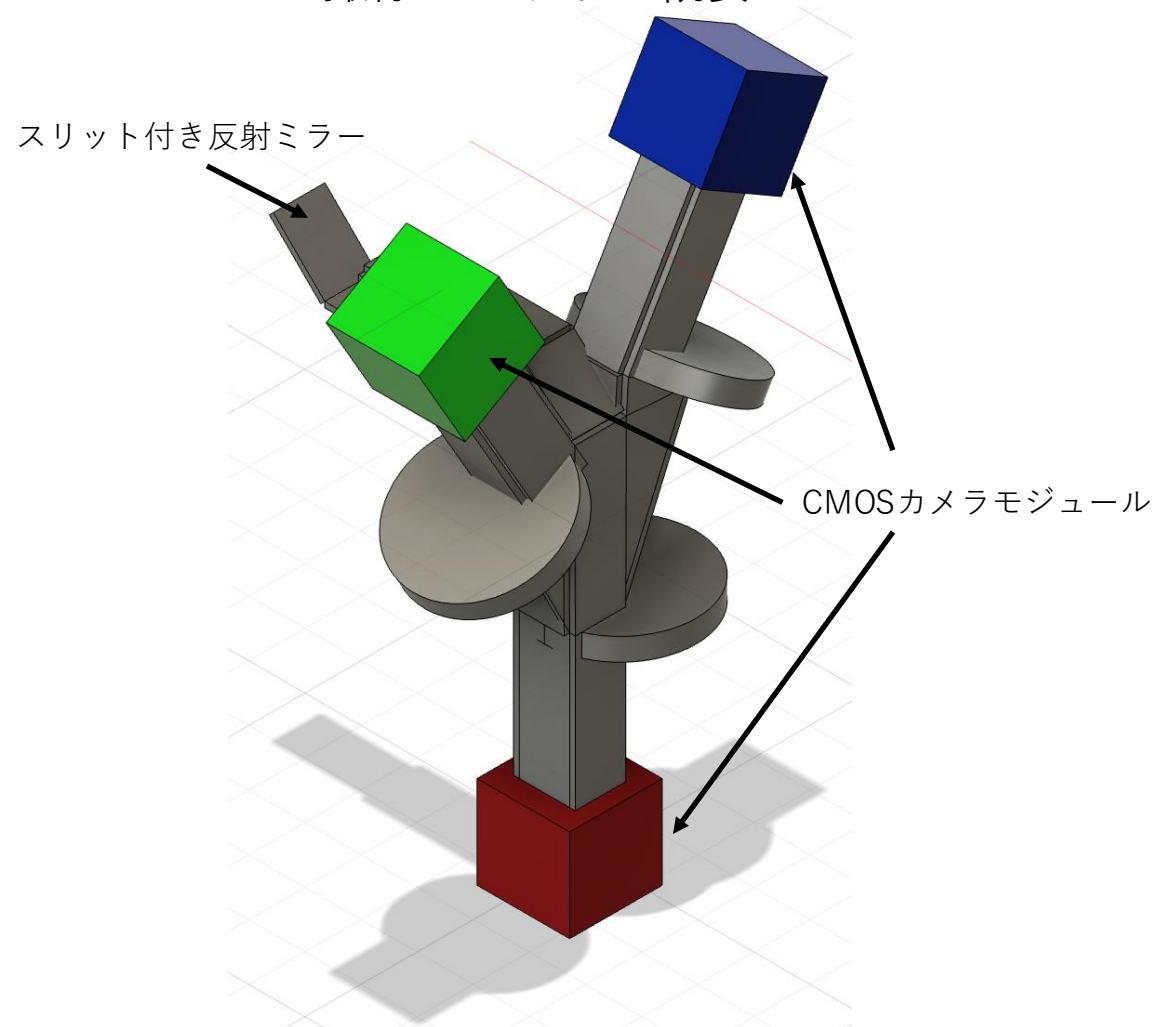
望遠鏡側から見た可視光装置視野($\phi = 10\text{arcmin}$)



- 複数のユニットを搭載し、視野分割を行う
 - 撮像ユニット: 次ページ
 - 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
 - SPADユニット: SPADイメージセンサーを用いて、高速撮像・偏光観測を行う(倉島さん発表)
 - u-bandユニット: 300-400nmの撮像及び分光を行う

撮像ユニット

撮像ユニットの概要



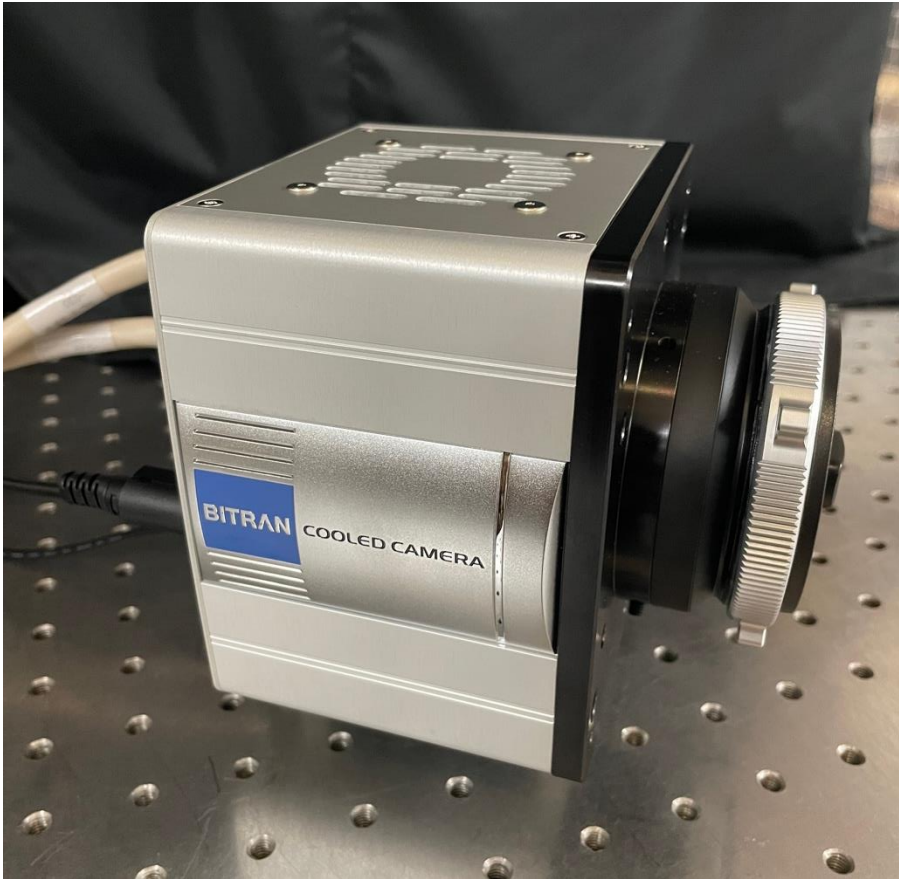
- 視野 $\phi=4\text{arcmin}$
- g,r,iの3バンドでの撮像を行う
- **3台のCMOSカメラモジュールを搭載**
- 分光ユニットのスリットビューワーを兼ねる

1. イントロダクション
- 2. CMOSカメラモジュールの概要**
3. 評価実験
4. まとめ

CMOSカメラモジュール BH-67M

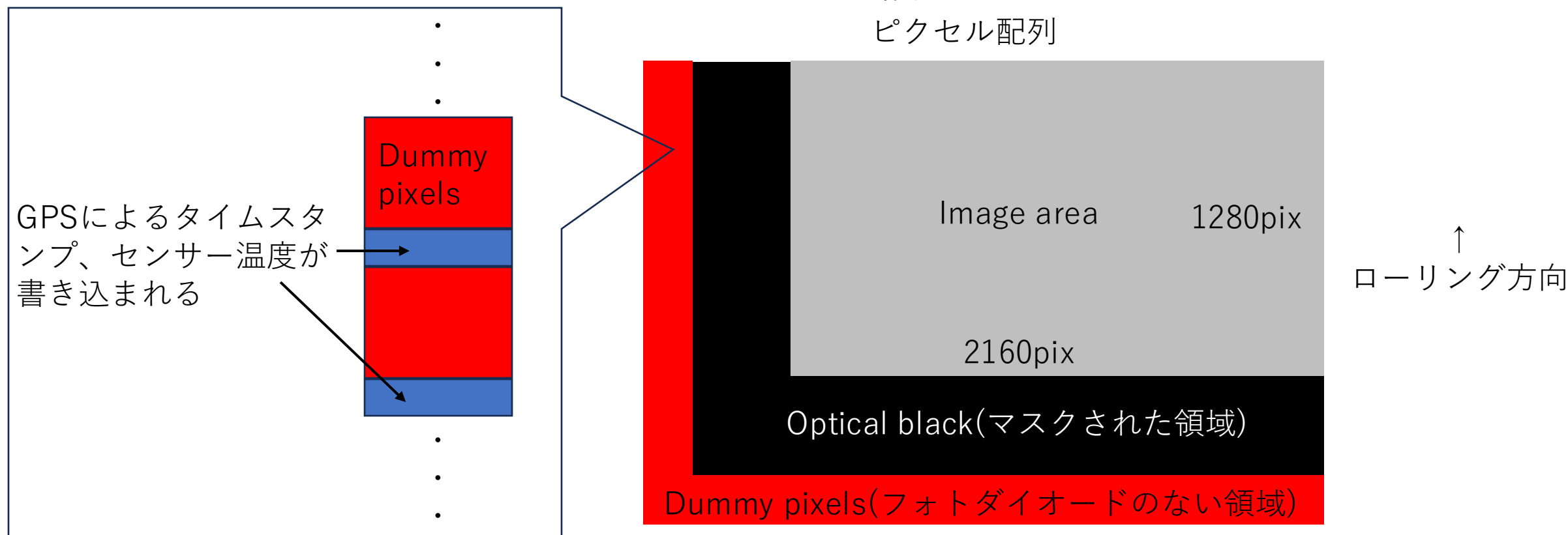
- ビットラン社製 LI3030SAM搭載冷却カメラ BH-67M

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℃



CMOSカメラモジュール BH-67M

- 画像にはGPSによるタイムスタンプが書き込まれる
- カメラリンクケーブルによりPCと通信する



1. イントロダクション
2. CMOSカメラモジュールの概要
- 3. 評価実験**
4. まとめ

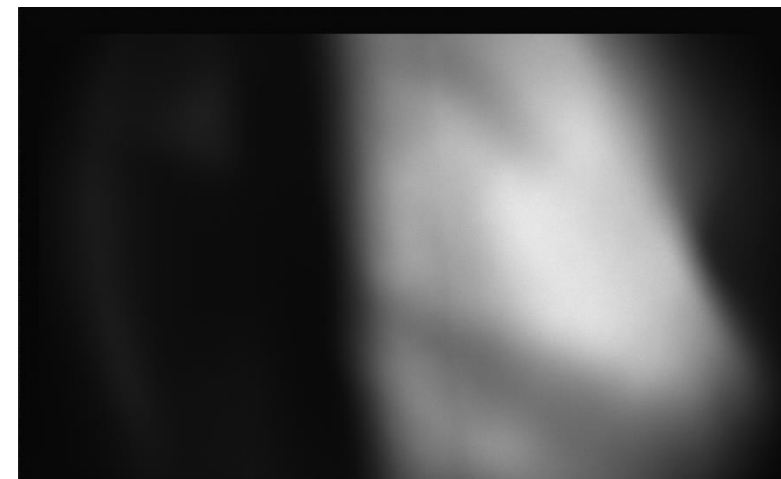
実験のセットアップとデータセット①

- 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



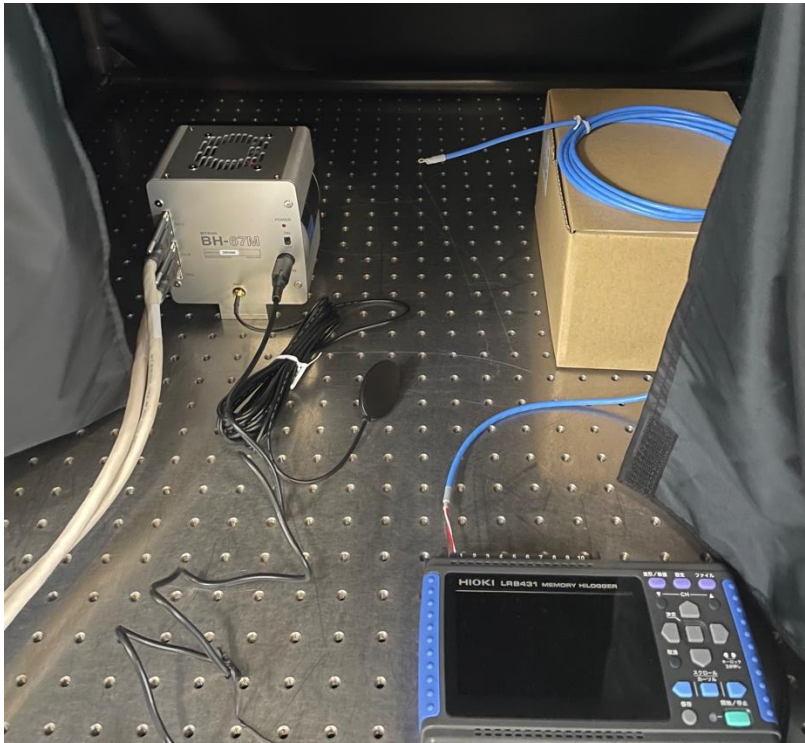
取得したフレーム



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℃	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-5℃	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-10℃	30ms x30, 100ms x10, 300ms x10, 1s x10, 3s x10
-15℃	

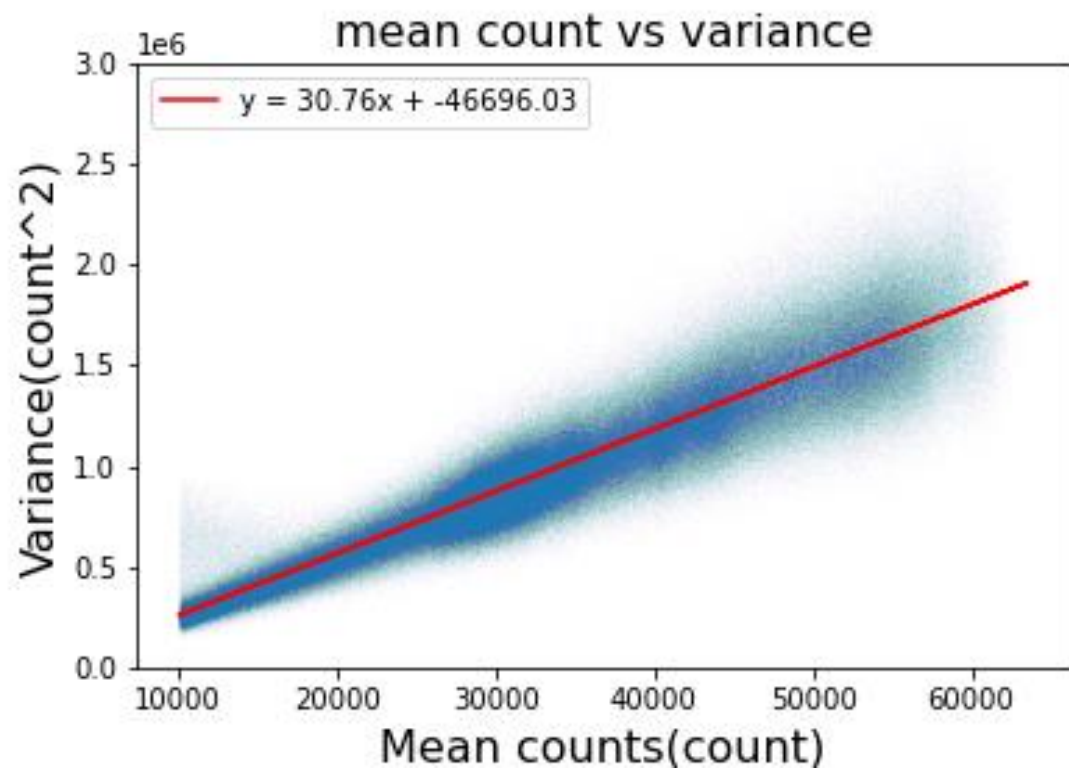


評価項目

- 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

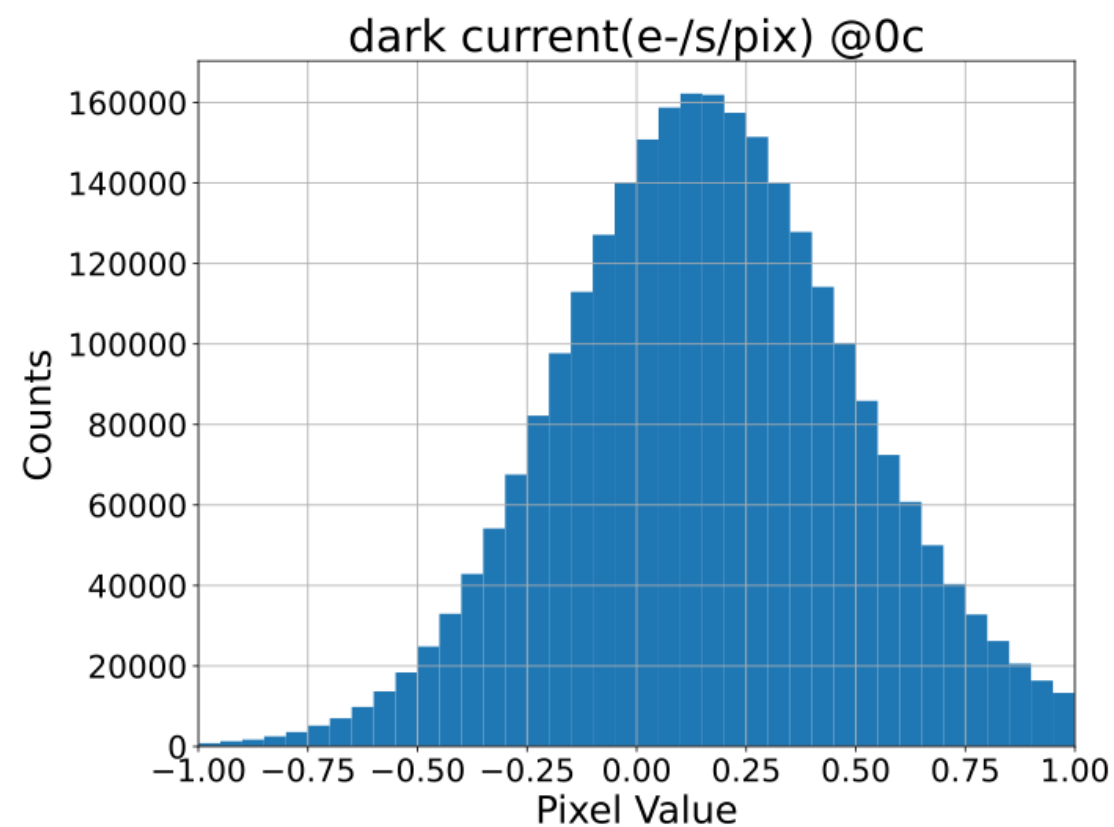
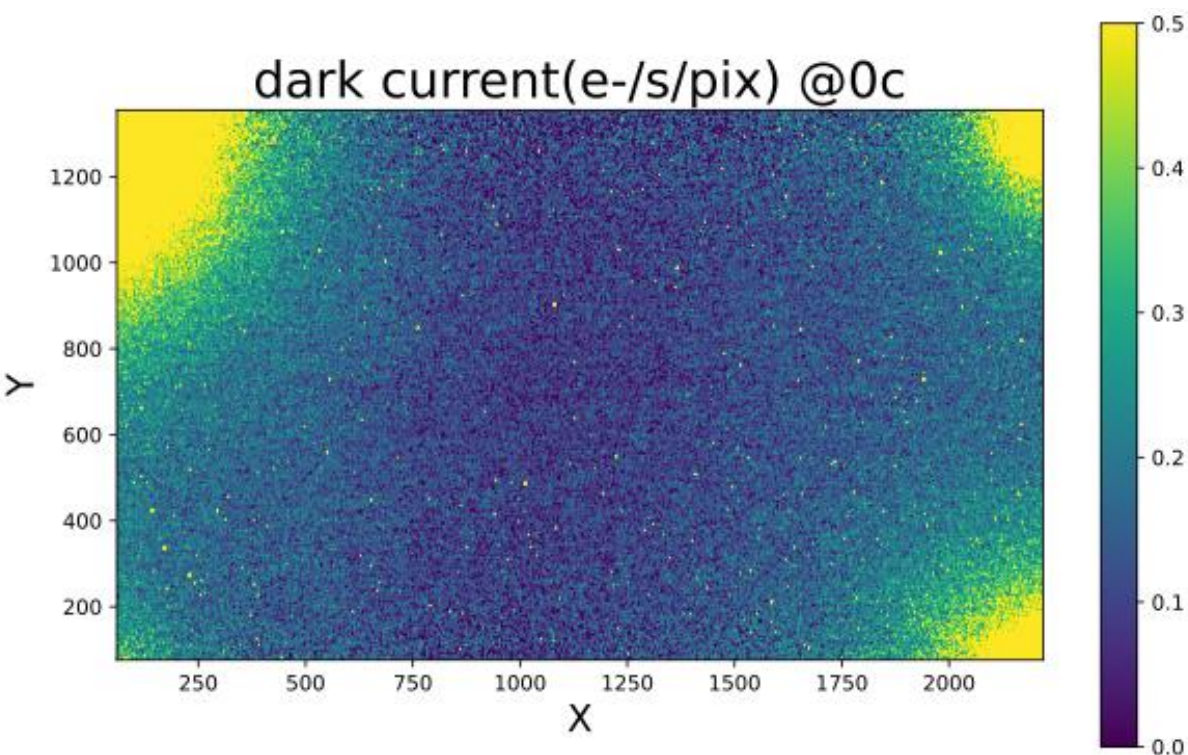
- 100フレームのカウント平均値が10000以上のピクセルに対し、カウントの平均値と分散をプロット



- 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

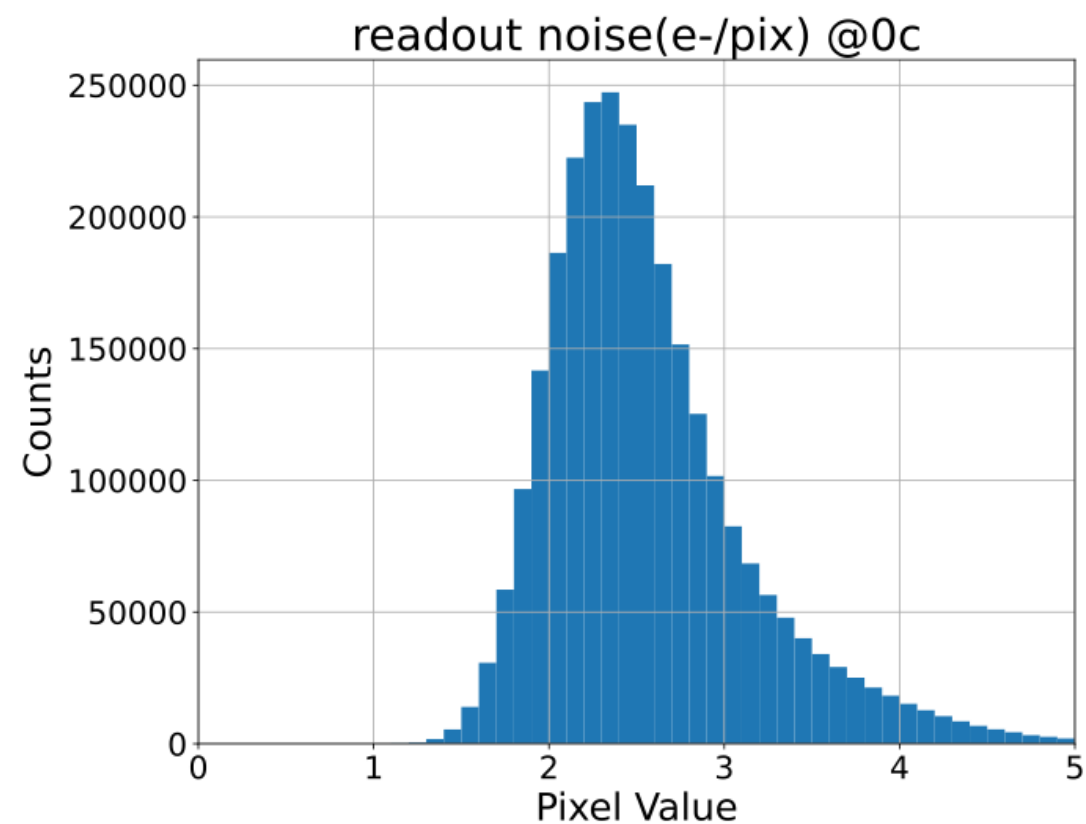
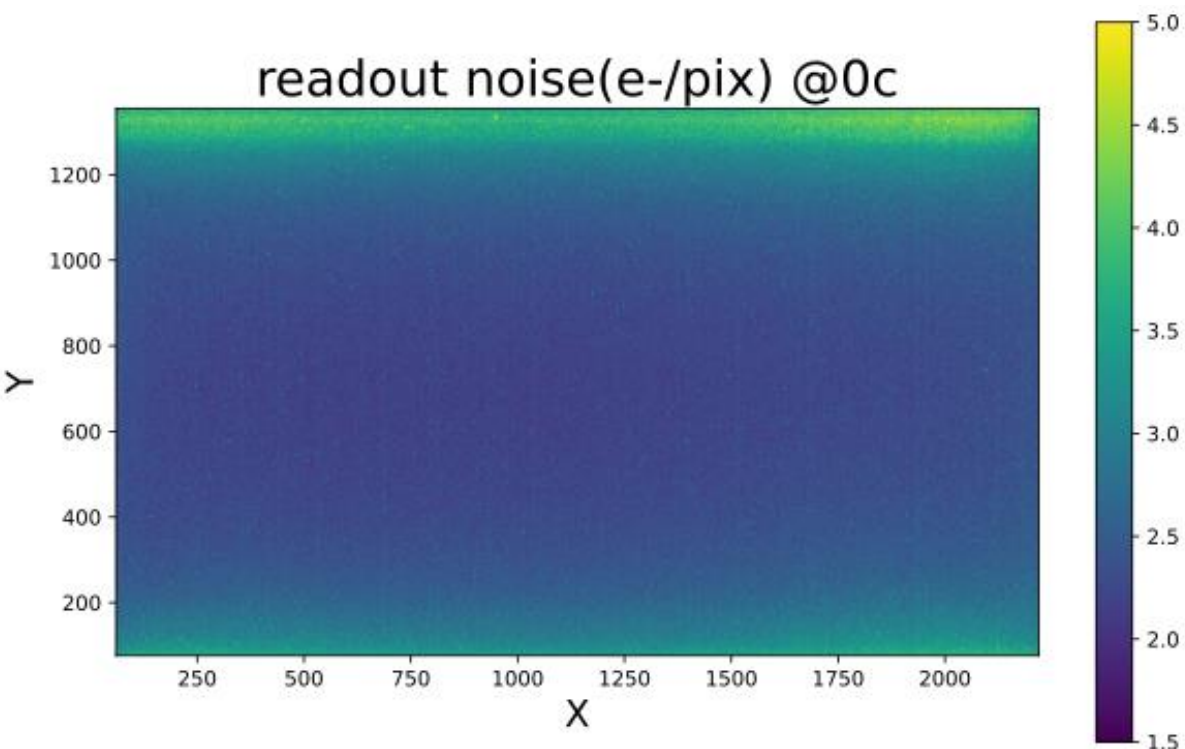
0°Cでのダークカレント

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



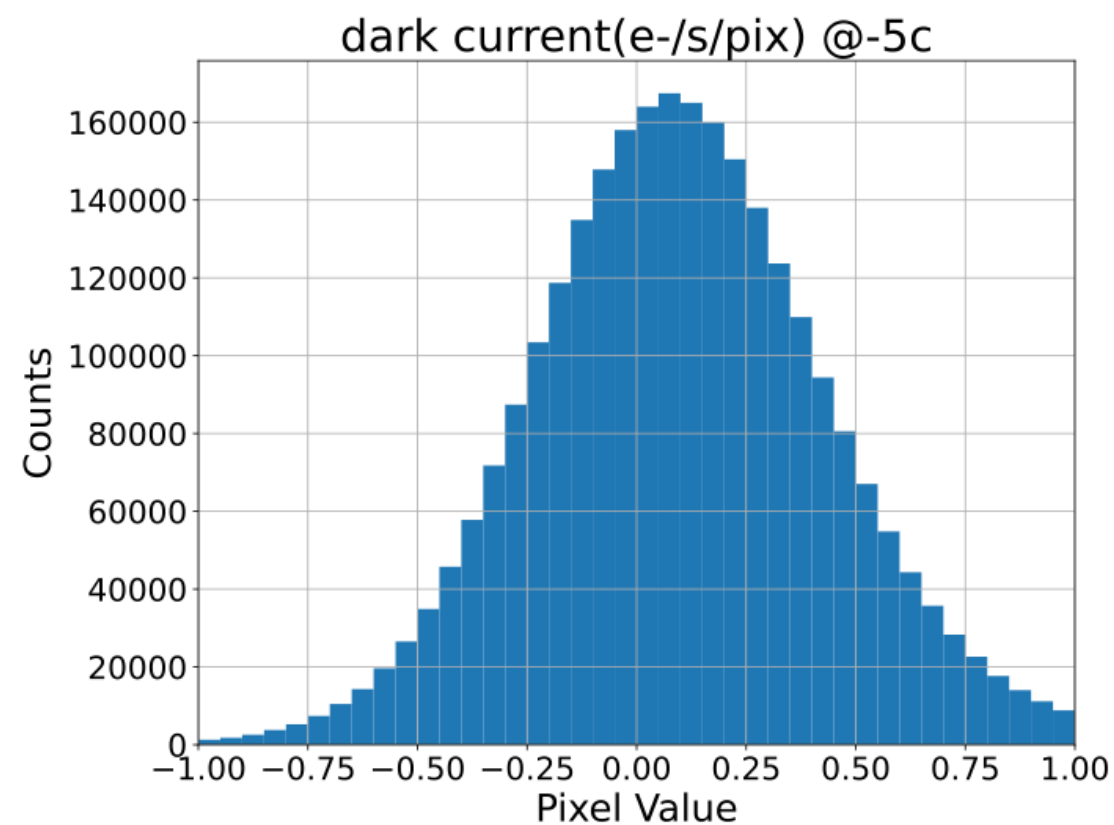
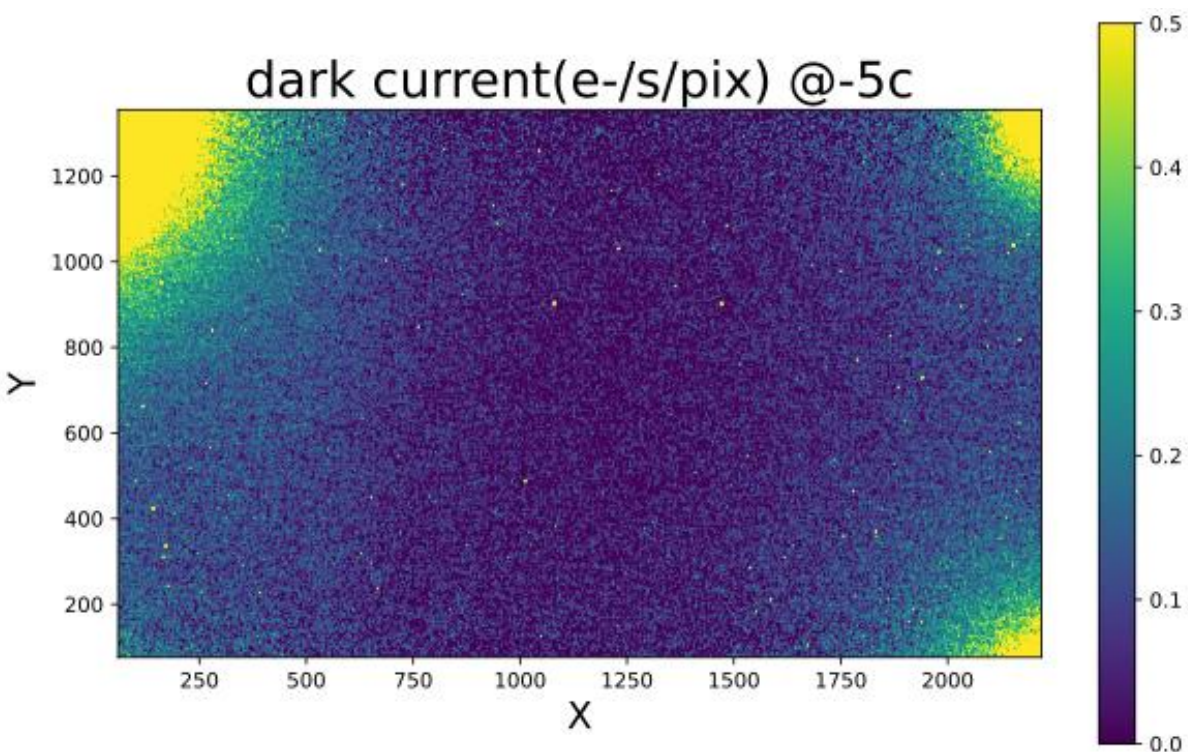
0°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.3e^-/\text{pix}$



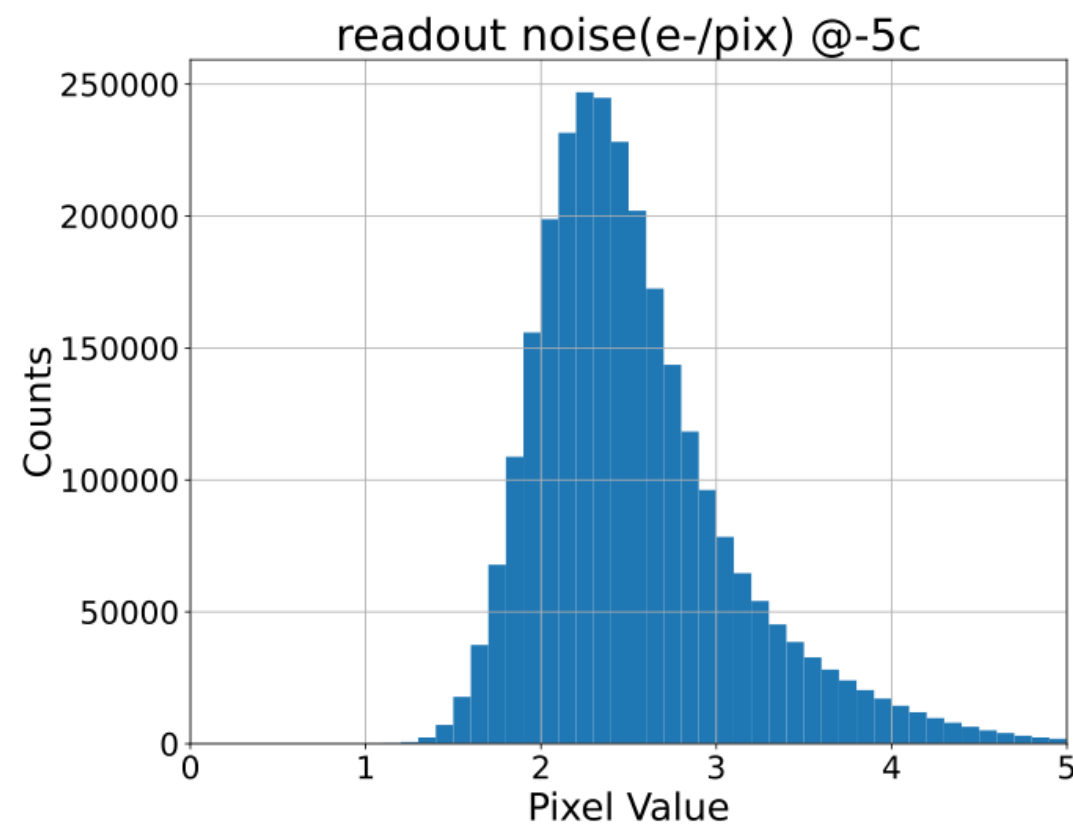
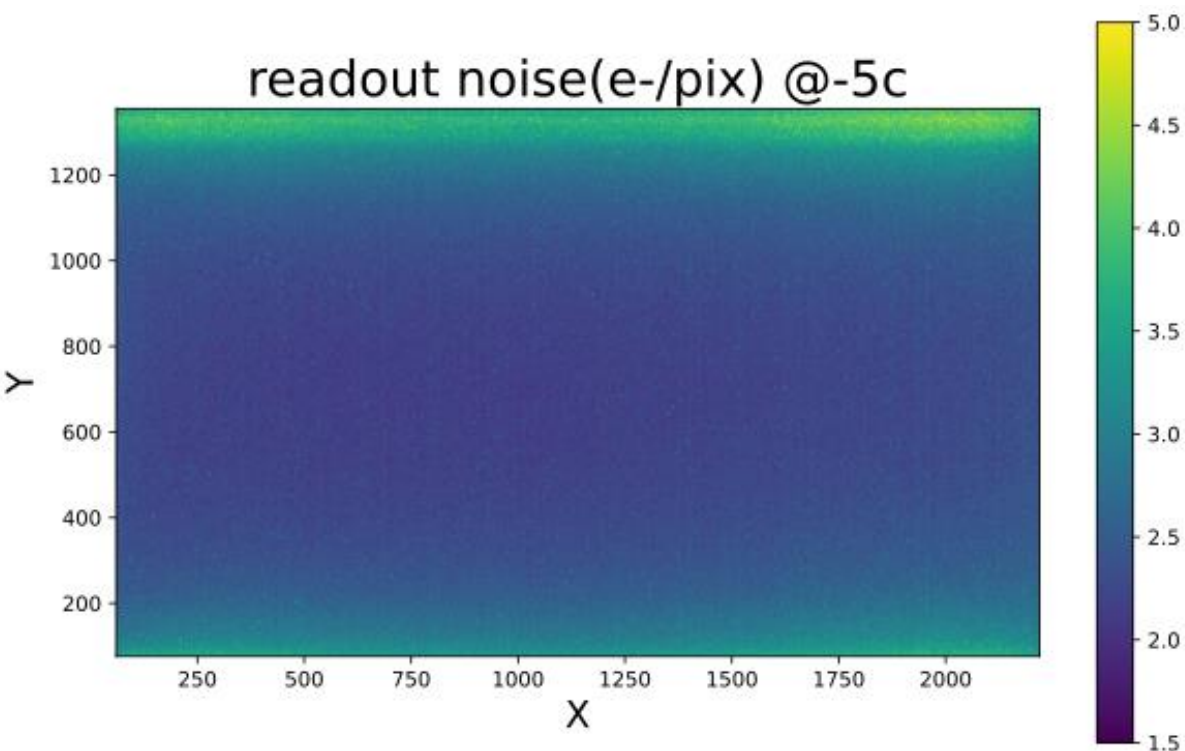
-5°Cでのダークカレント

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



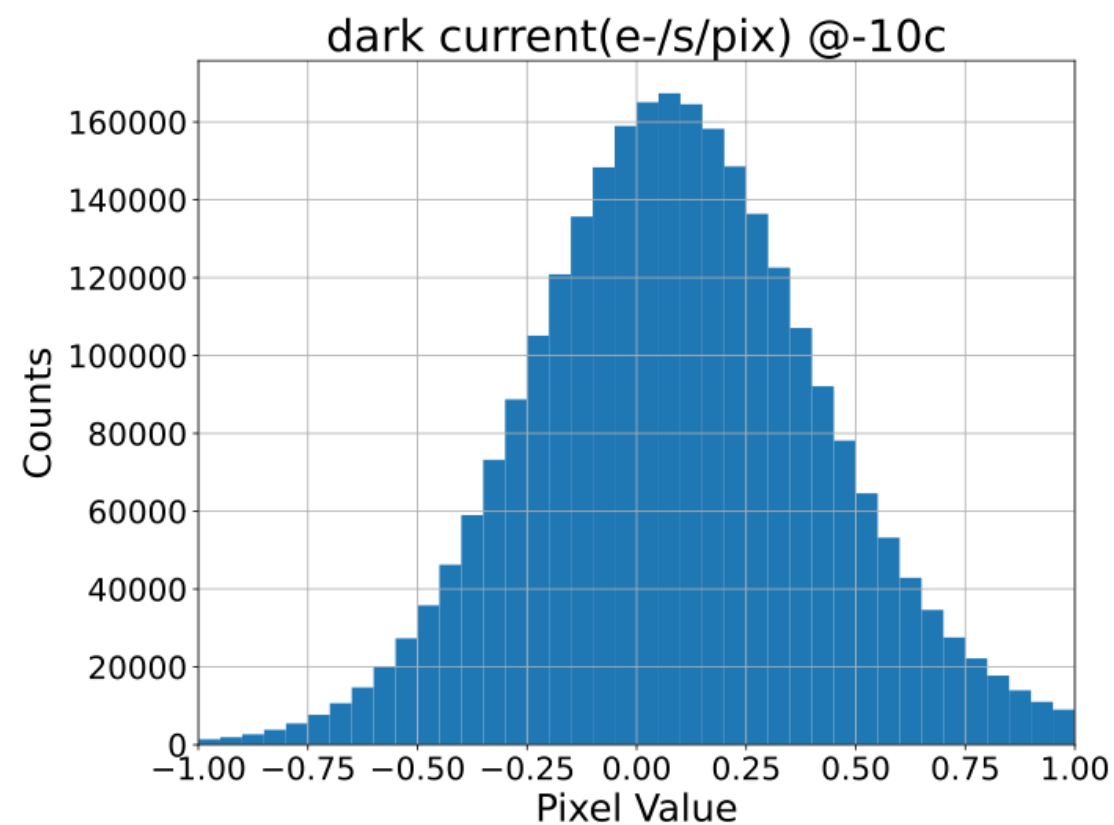
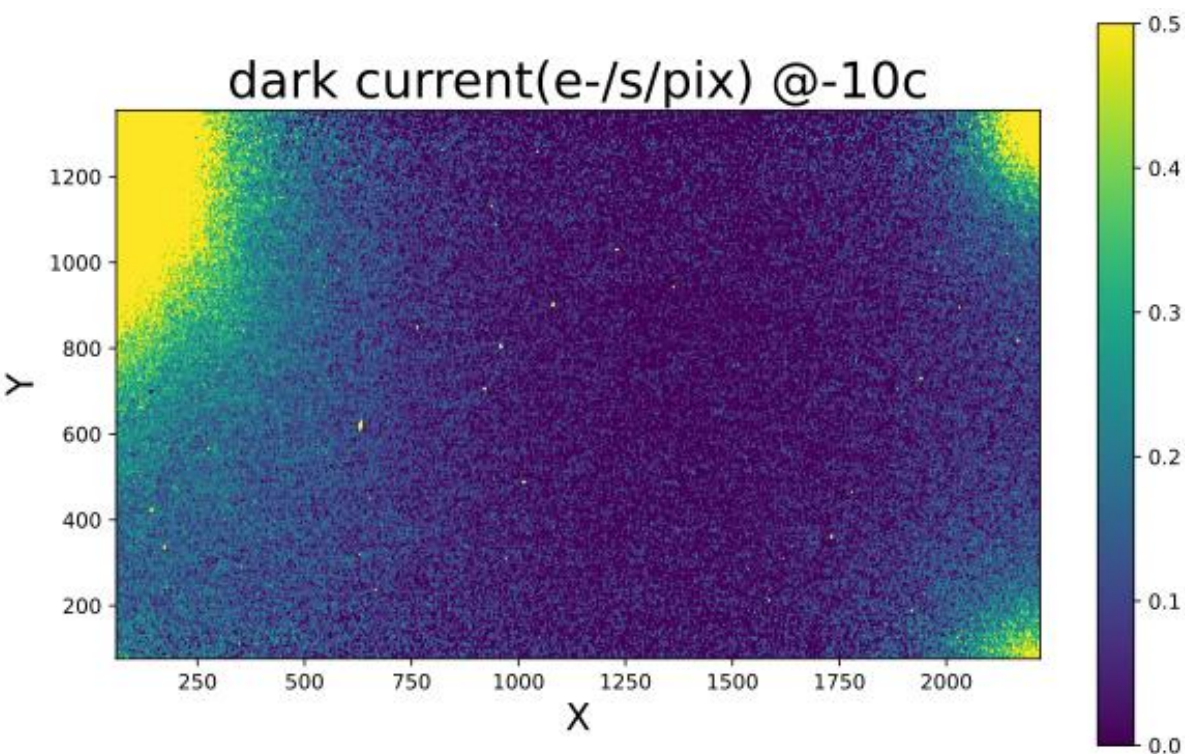
−5°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.2e^-/\text{pix}$



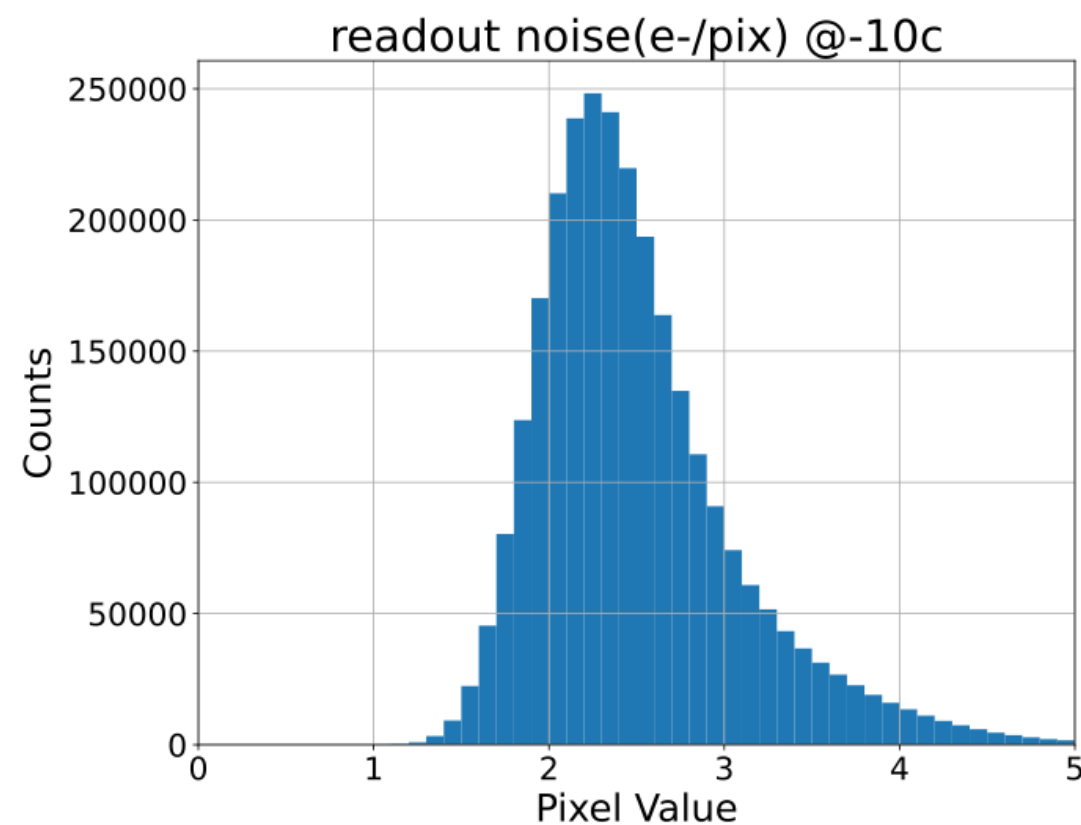
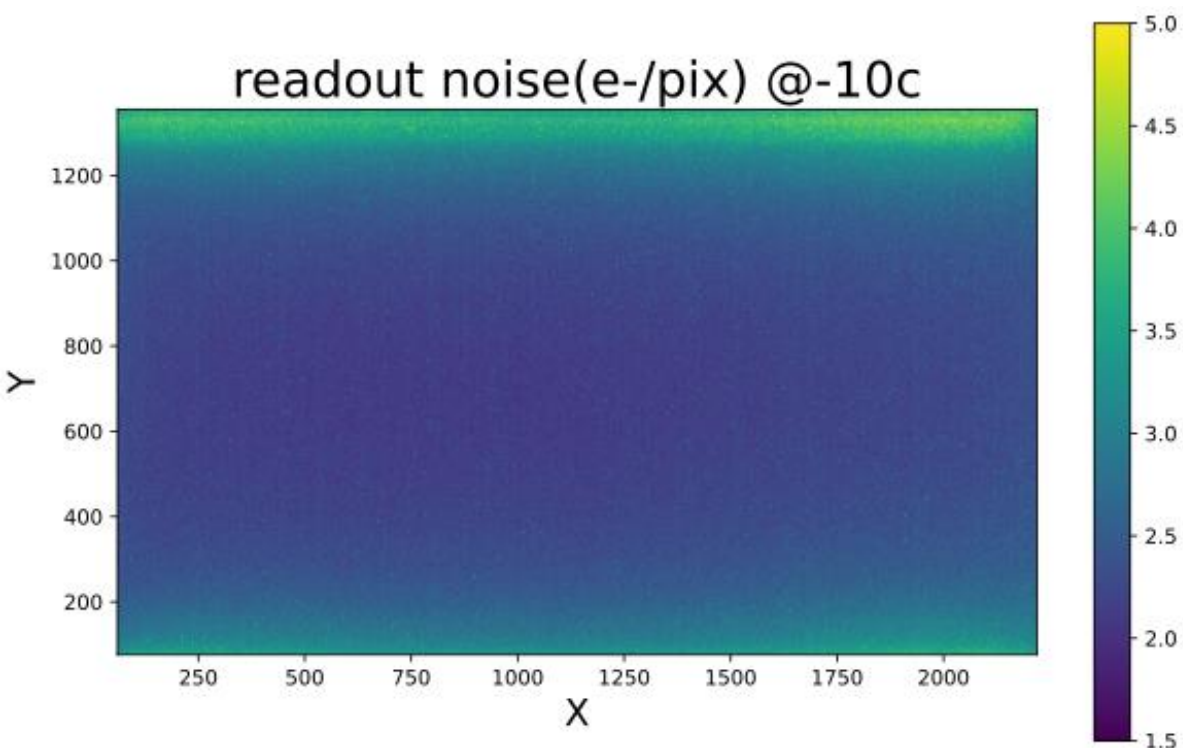
−10°Cでのダークカレント

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



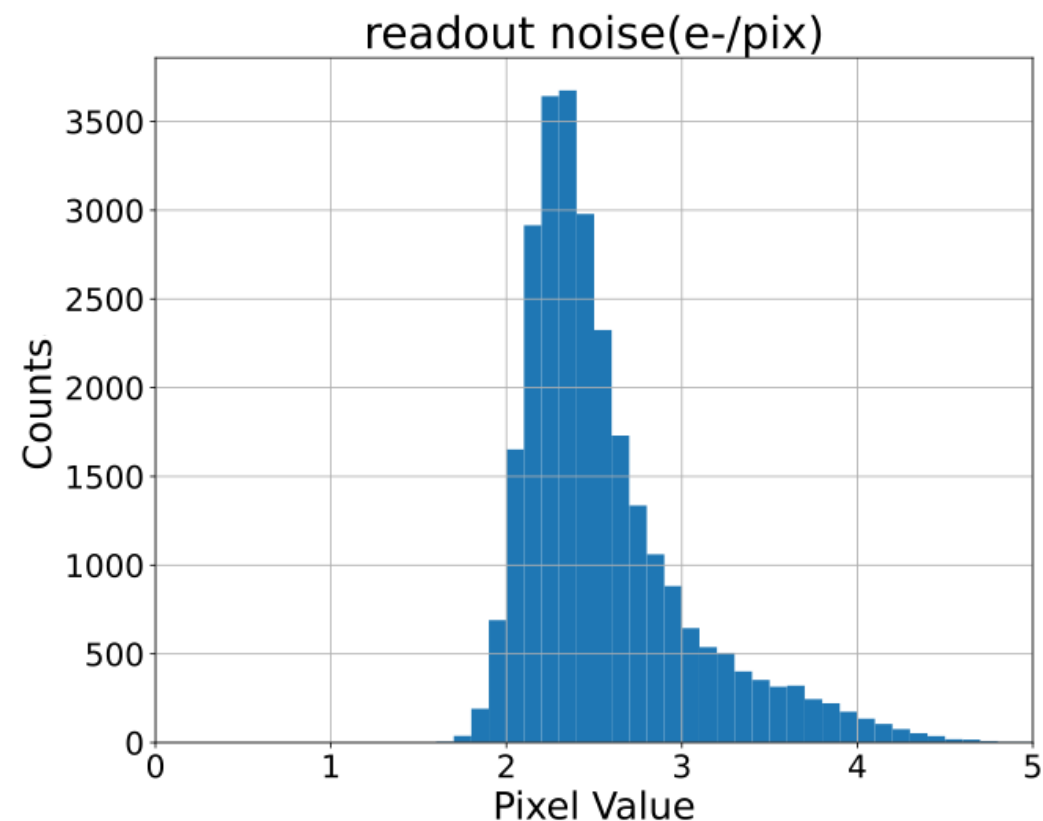
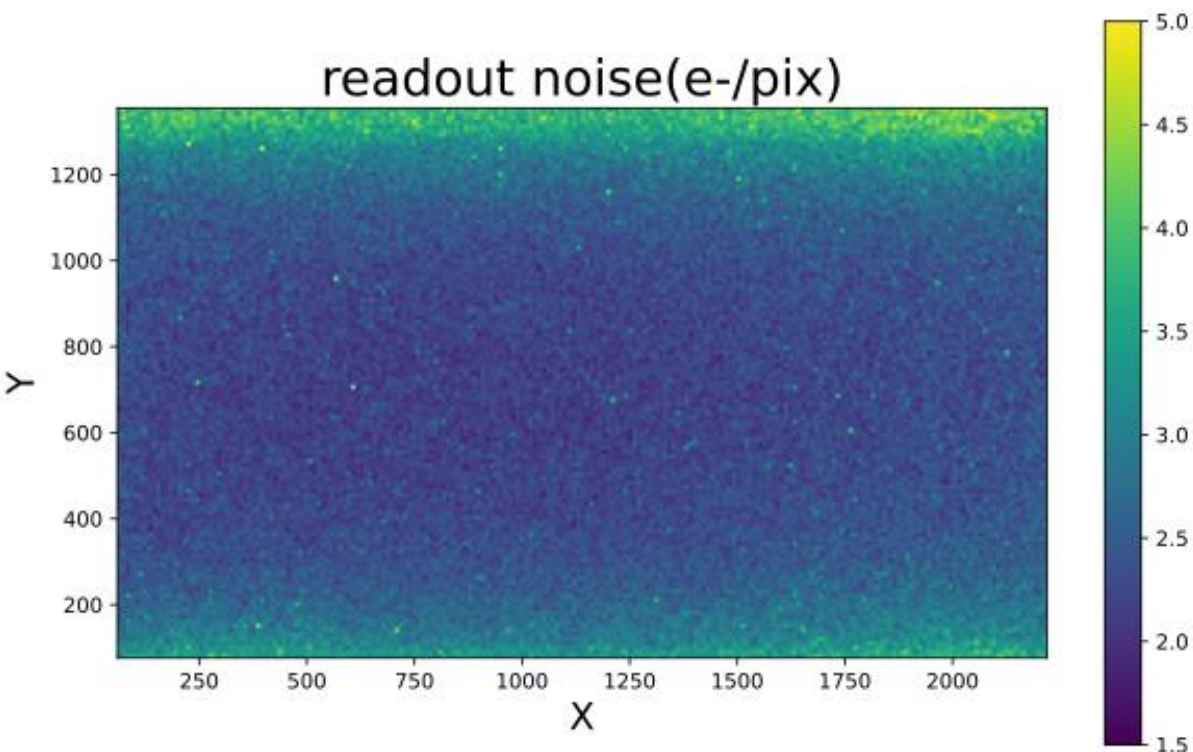
−10°Cでの読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.2e^-/\text{pix}$



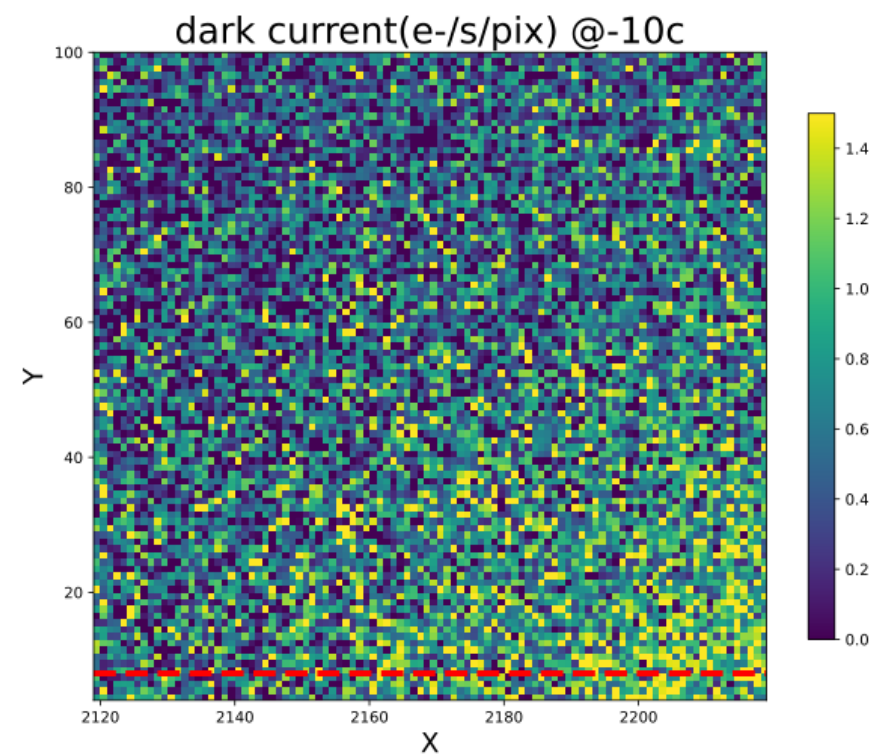
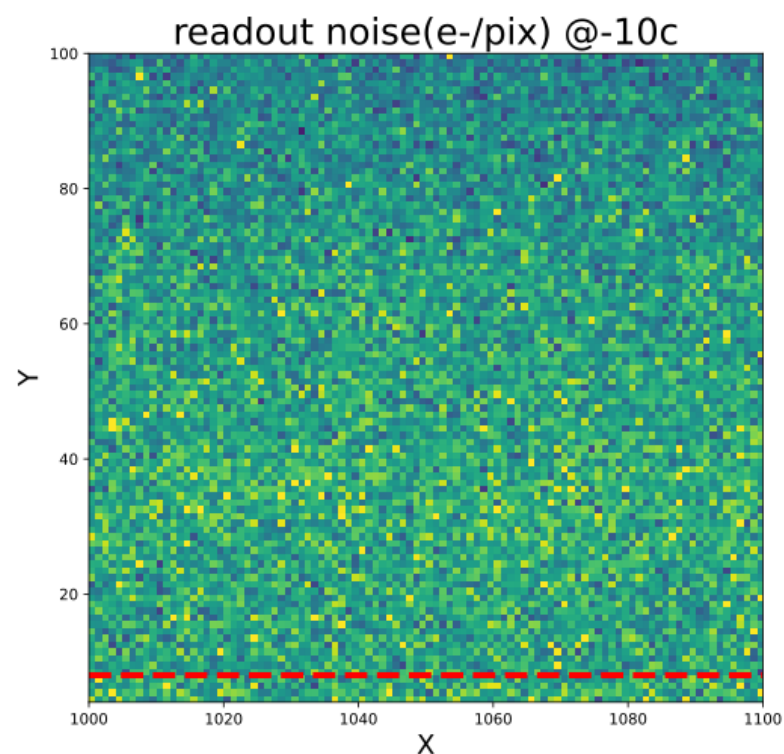
−10°Cでのピクセル間の読み出しノイズ

- 読み出しノイズの最頻値は $2.3e^-/\text{pix}$

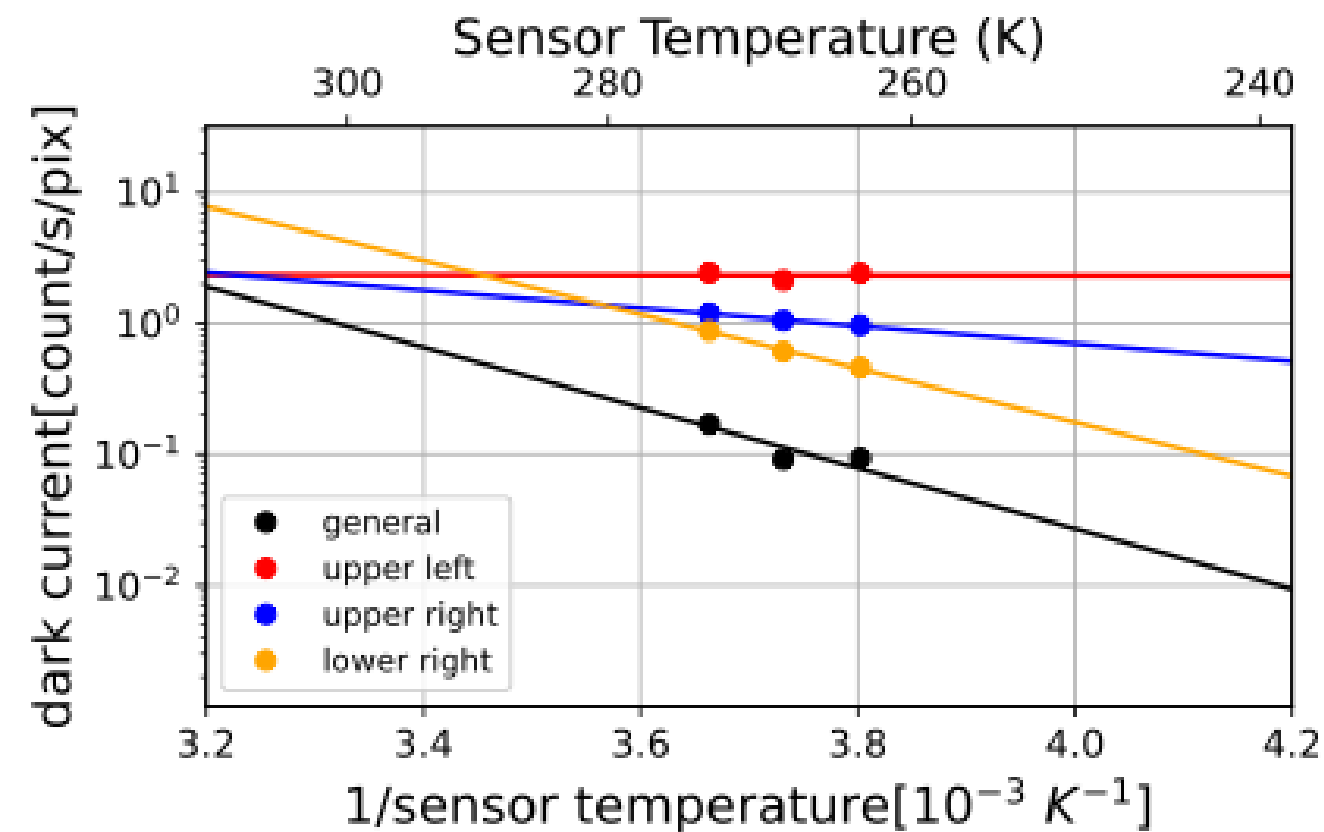


読み出しノイズとダークカレントの起源

- センサー下側に存在するdummy pixel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ない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

CMOSカメラモジュールの冷却

CMOS制御ソフトの画面

```
C:\Users\TAOspad1\Desktop >
-14.5C 70% EXPOSURE
info-get
-14.5C 70% EXPOSURE
info-get
-14.6C 70% EXPOSURE
info-get
-14.6C 70% EXPOSURE
info-get
-14.6C 70% EXPOSURE
info-get
-14.6C 65% EXPOSURE
info-get
-14.6C 65% EXPOSURE
info-get
-14.5C 65% EXPOSURE
info-get
-14.4C 65% EXPOSURE
info-get
-14.0C 65% EXPOSURE
info-get
-13.8C 66% EXPOSURE
info-get
-13.8C 66% EXPOSURE
conf-get
TS:1 TRG:8 GAIN:5 EXP:1000 TEMP:-15 POL:0 RD:0 ROI:0
info-get
-14.0C 68% EXPOSURE
info-get
-14.2C 68% DATAOUT
```

- 室温が26℃程度の時に、センサー温度を-15℃に設定しても、センサー温度は-15℃にはならなかった
 - このカメラモジュールは外気温-40℃以下には冷却できない

1. イントロダクション
2. CMOSカメラモジュールの概要
3. 評価実験
- 4. まとめ**

まとめ

- TAO望遠鏡可視光装置で用いるCMOSカメラモジュールの性能評価を行った
- ダークカレントの典型値は -10°C で $0.09\text{e}^{-}/\text{s}/\text{pix}$ 程度だが、センサーの4隅で高い値を取る
- 読み出しノイズの典型値は $2.2\text{e}^{-}/\text{pix}$ 程度で、センサーの上下端では $3\text{e}^{-}/\text{pix}$ を超える
- TriCCSやTomo-e GozenのCMOSセンサーとの比較を行う予定
- 他のゲインでの実験、リニアリティの評価は今後実施予定