

すばる望遠鏡広帯域分光装置 **NINJA**の検出器システム最適化

田中健翔 (修士2年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻)

本原顕太郎 (東京大学天文学教育研究センター, 国立天文台)

柳澤顕史 (国立天文台)

鎌田有紀子 (国立天文台)

東谷千比呂 (国立天文台)

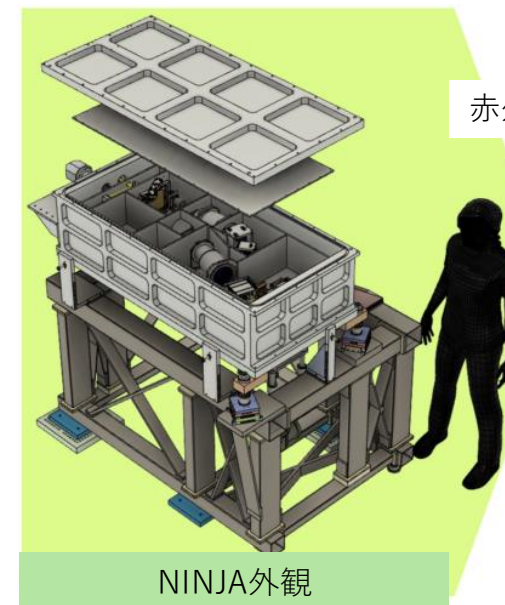
2025/4/17 第44回天文学に関する技術シンポジウム

広帯域分光装置NINJA

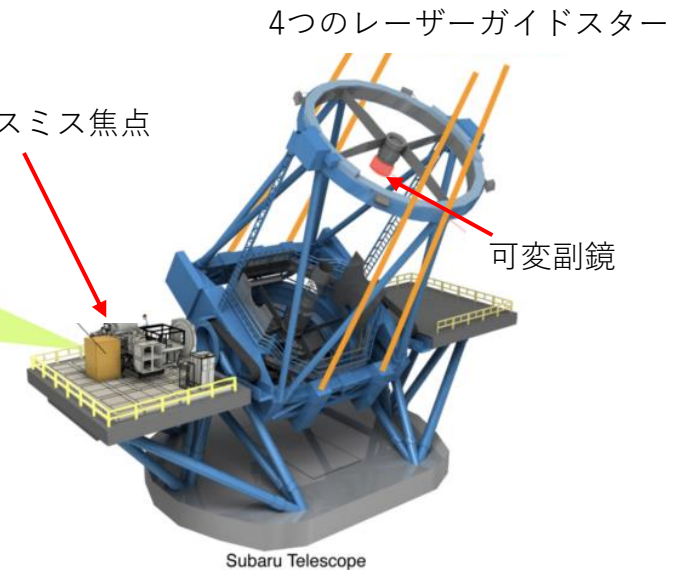
NINJA (Near-**I**nfrared and optical **J**oint spectrograph with **A**daptive optics)



- レーザートモグラフィ補償光学 (LTAO) に最適化された分光観測装置
- 可視分光装置($0.35\text{-}0.9\mu\text{m}$)と、近赤外分光装置($0.9\text{-}2.5\mu\text{m}$)から構成
- サイエンスターゲット
 - キロノヴァ(メインターゲット)
 - クエーサー
 - 遠方銀河



赤外ナスミス焦点



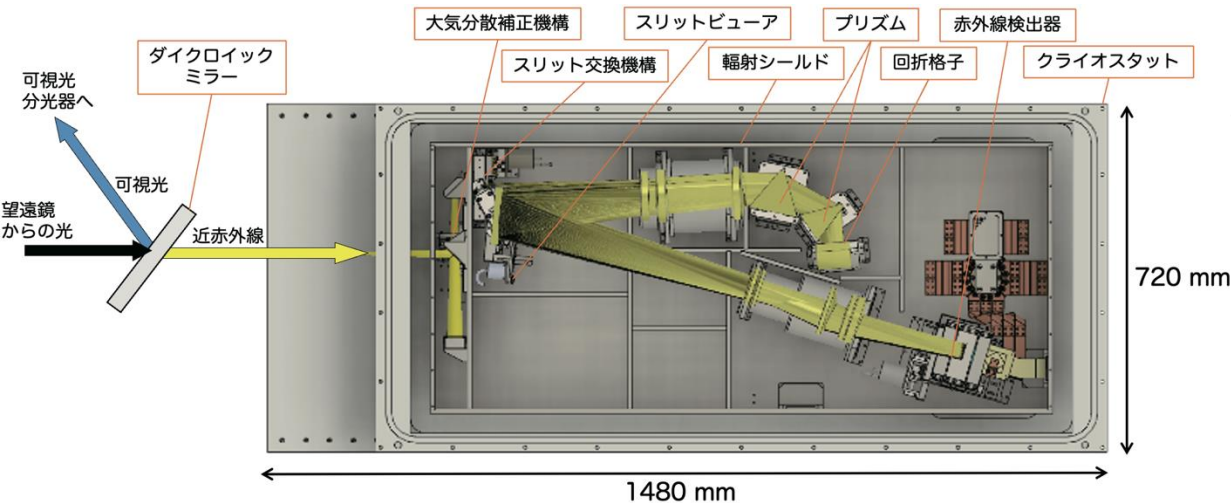
(NINJA HP)

➤ 狭領域を**高感度&広波長域 ($0.35\text{-}2.5\mu\text{m}$)**で一度に分光観測

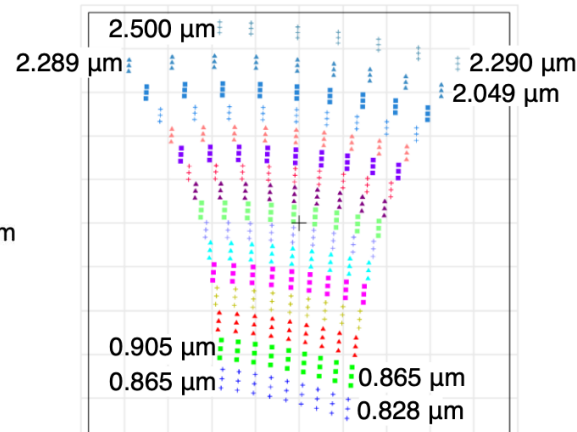
NINJA近赤外線分光装置 諸元

- 近赤外線分光装置が先行開発中
 - 回折格子+クロスディスパーサを組み合わせたエシェル分光器
 - LTAOで実現できるシャープな像に合わせて、スリット幅は細く設定 (0.35", R~3300)

近赤外線分光装置の光学レイアウト



検出器上のエシェルフォーマット



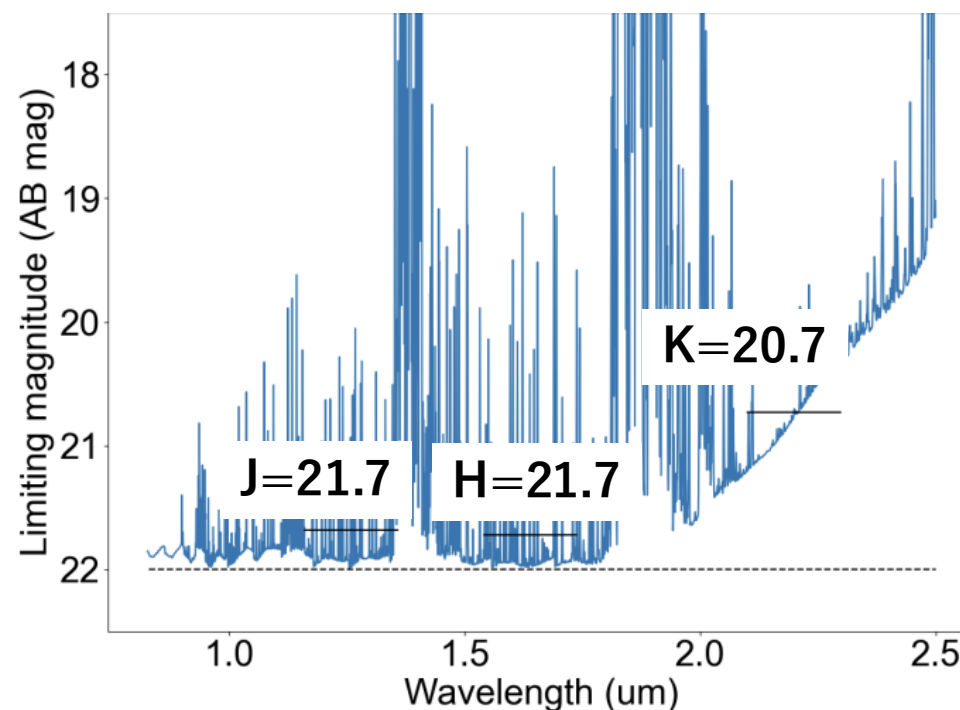
近赤外線分光装置 諸元

波長範囲	0.83-2.5μm
F比	13.9
スリット幅、波長分解能	0.35" R~3300 0.21" R~5500 0.5" R~2310 0.7" R~1650
スリット長	5"
検出器	HAWAII-2RG x 1 (2048 x 2048pix)
画素サイズ	18 μm/pix
サンプリング	3.3 pix

NINJA検出器システム開発への要求

NINJA 限界等級(S/N=10)

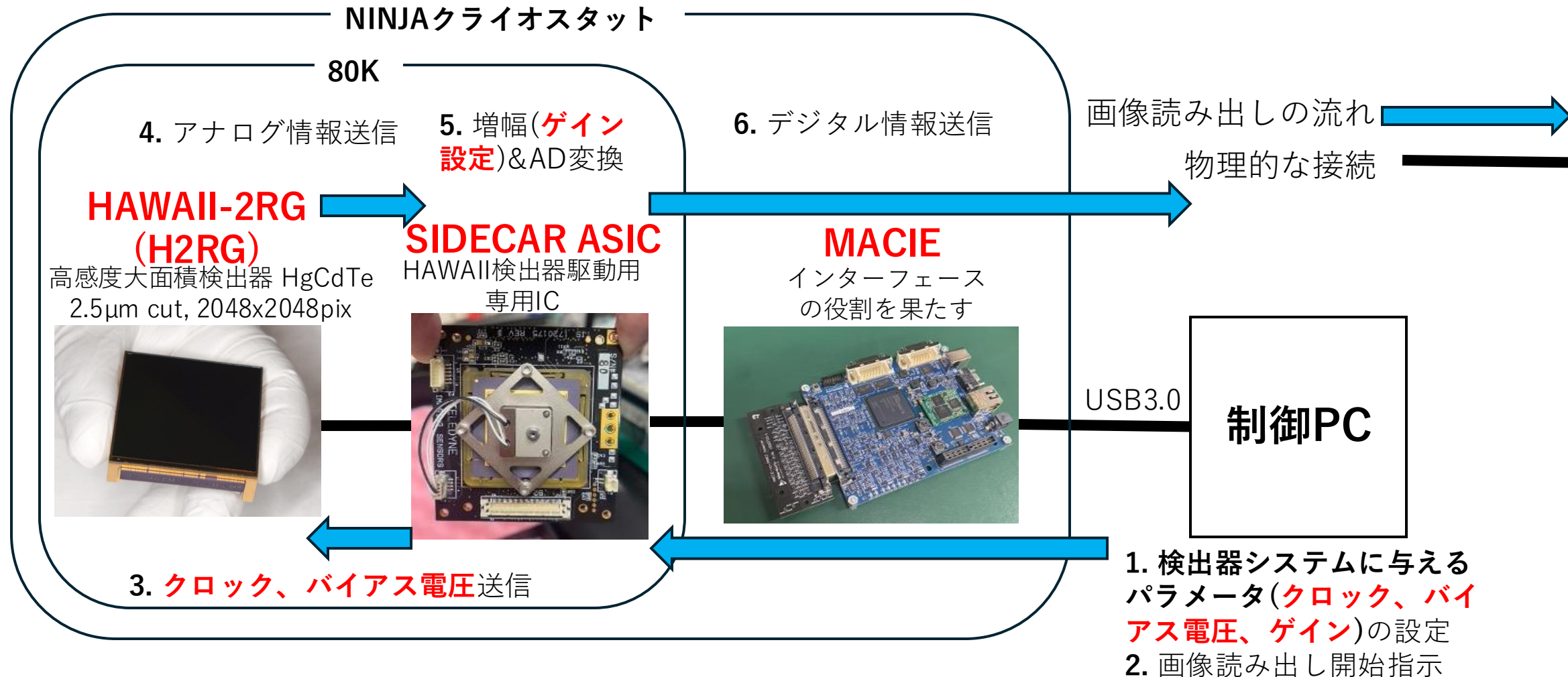
$\sigma_{read} = 4e^- rms$ 2時間積分



→ NINJAの目標感度(Jバンド22mag, S/N=10, 2hr)を達成するには、読み出しノイズ $\sigma_{read} = 4e^- rms$ が要求される。

→ 検出器システムに与える最適なパラメータを見出す必要性

NINJA検出器システム 概念図

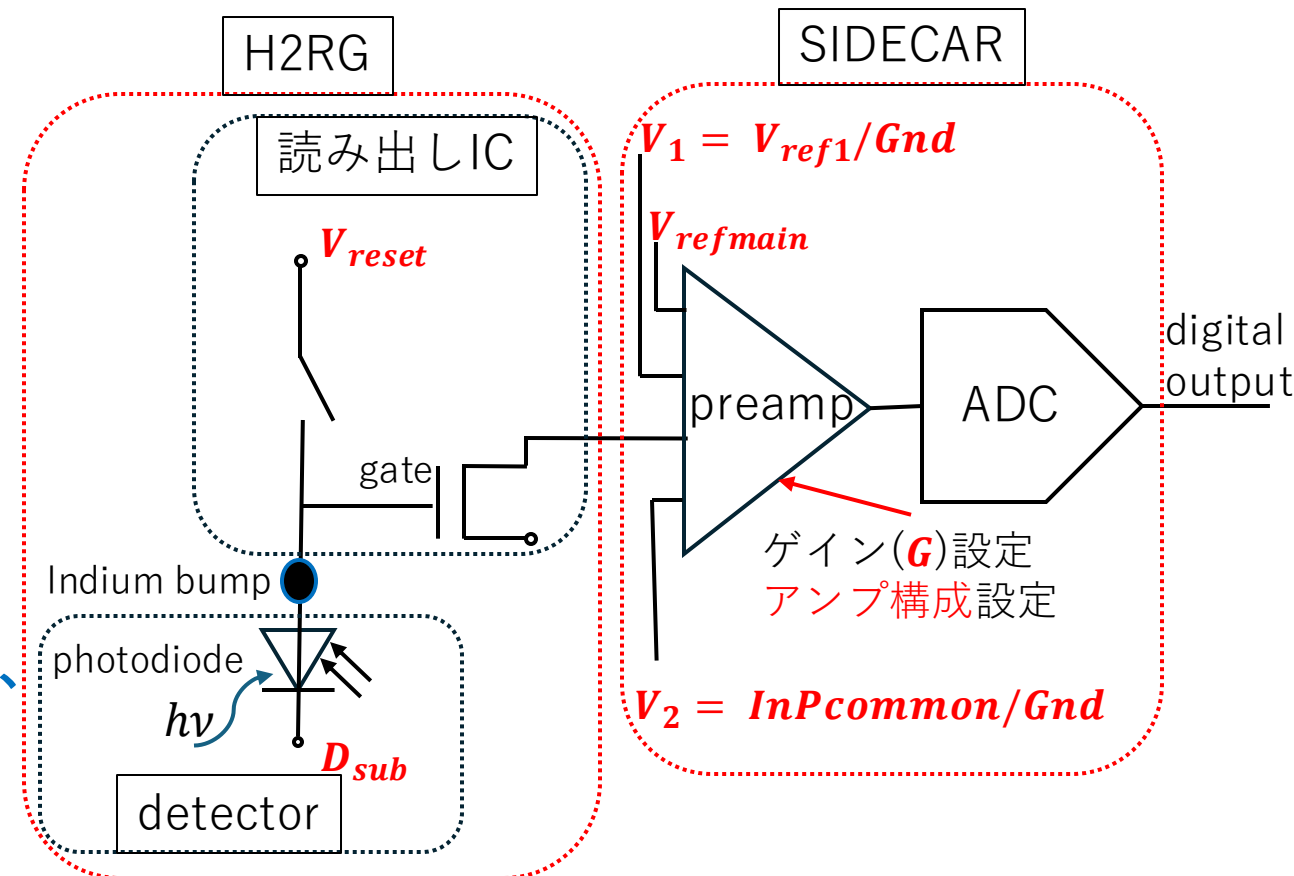


読み出し最適化を実現する調整パラメータ

H2RG検出器1pixelと、SIDE CARの回路の概略図

- 検出器システムに与える調整パラメータ
 - photodiodeバイアス電圧(V_{reset} , D_{sub})
 - アンプ構成 (InPcommonモード / Vrefmainモード)
 - アンプに入力する参照電圧を三つ用いるか、一つ用いるかを決定
 - アンプ参照電圧($V_{refmain}$, V_{ref1})
 - ゲイン(G)

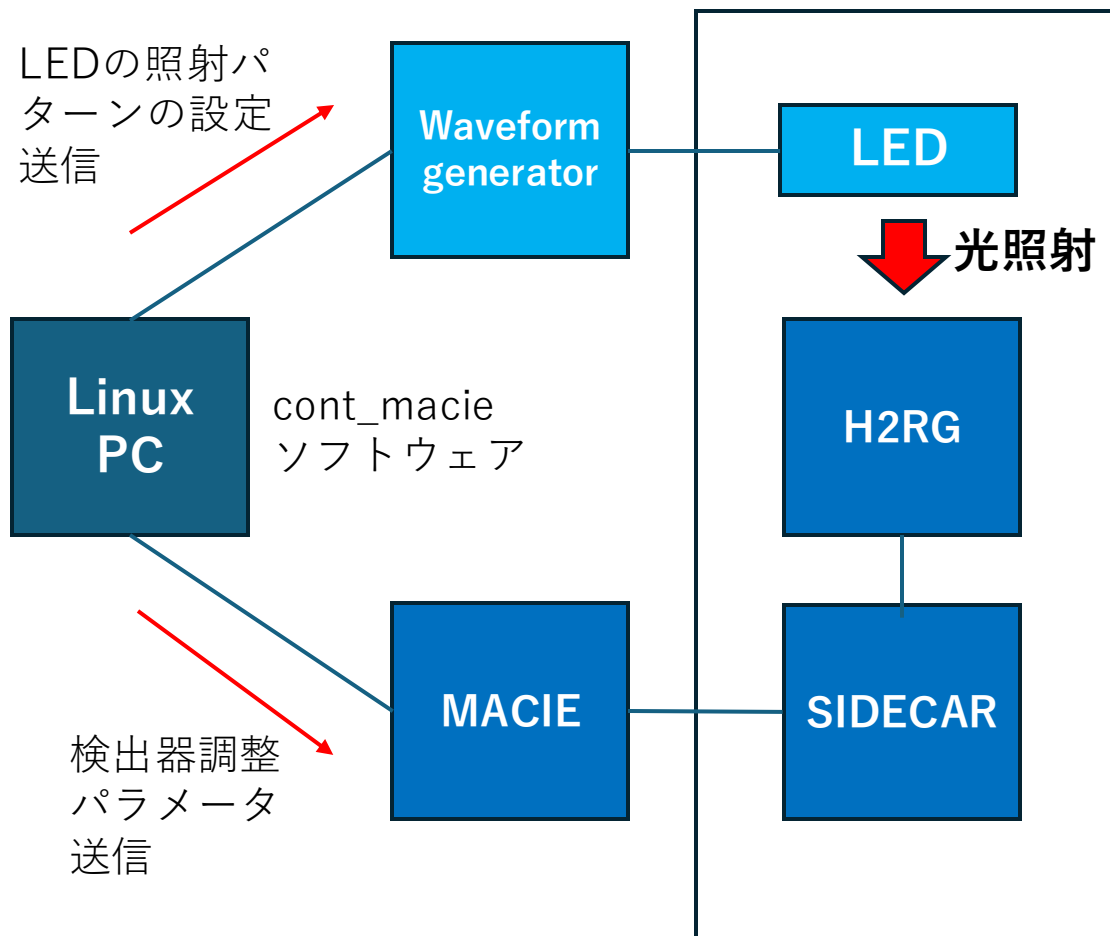
→ H2RG(Eng.grade, 1.7 μ m cut)を用いて、五つの調整パラメータがダイナミックレンジ、ノイズ性能にどのように影響を与えるのかを調べた。



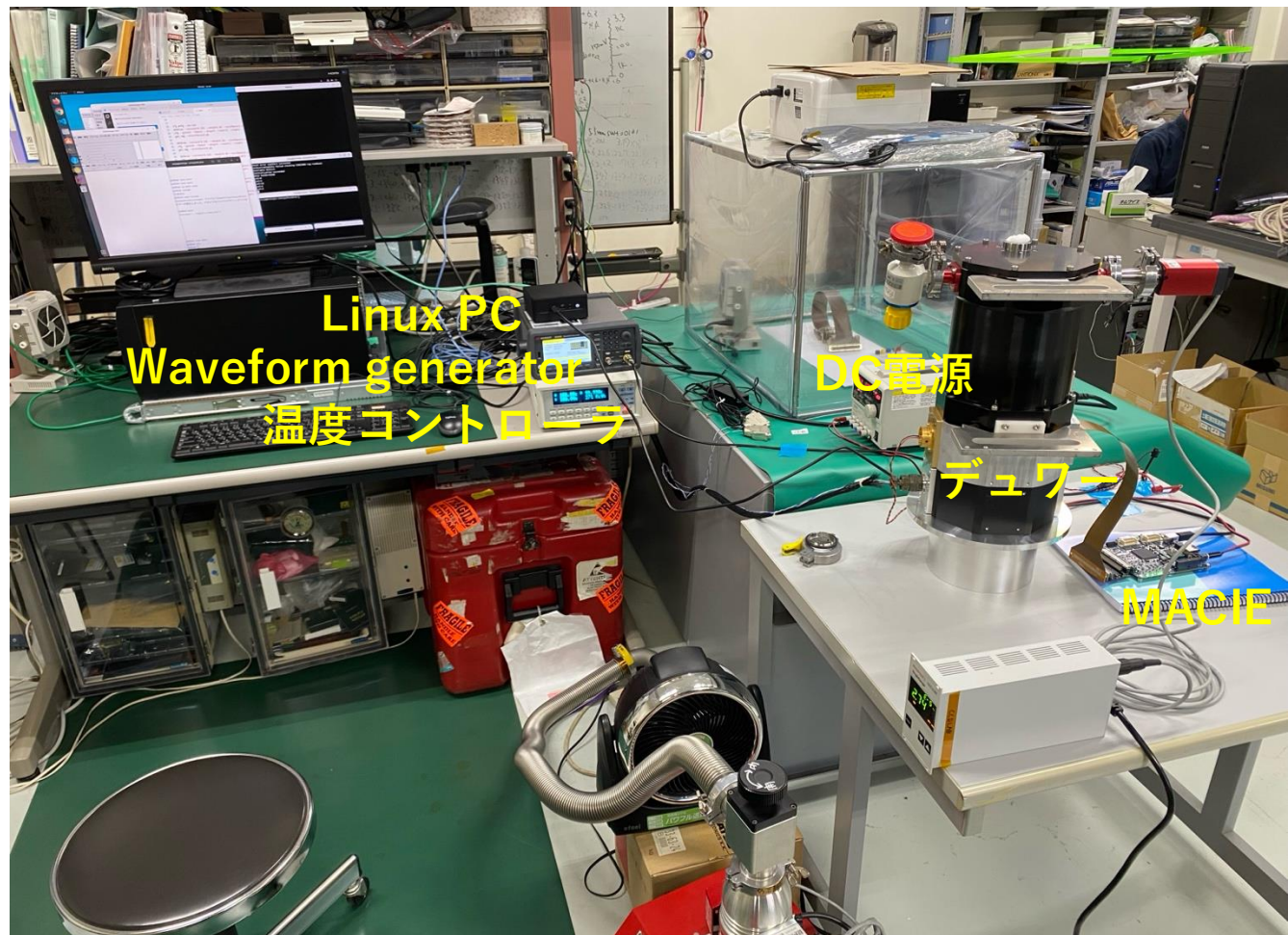
実験環境

実験環境構成

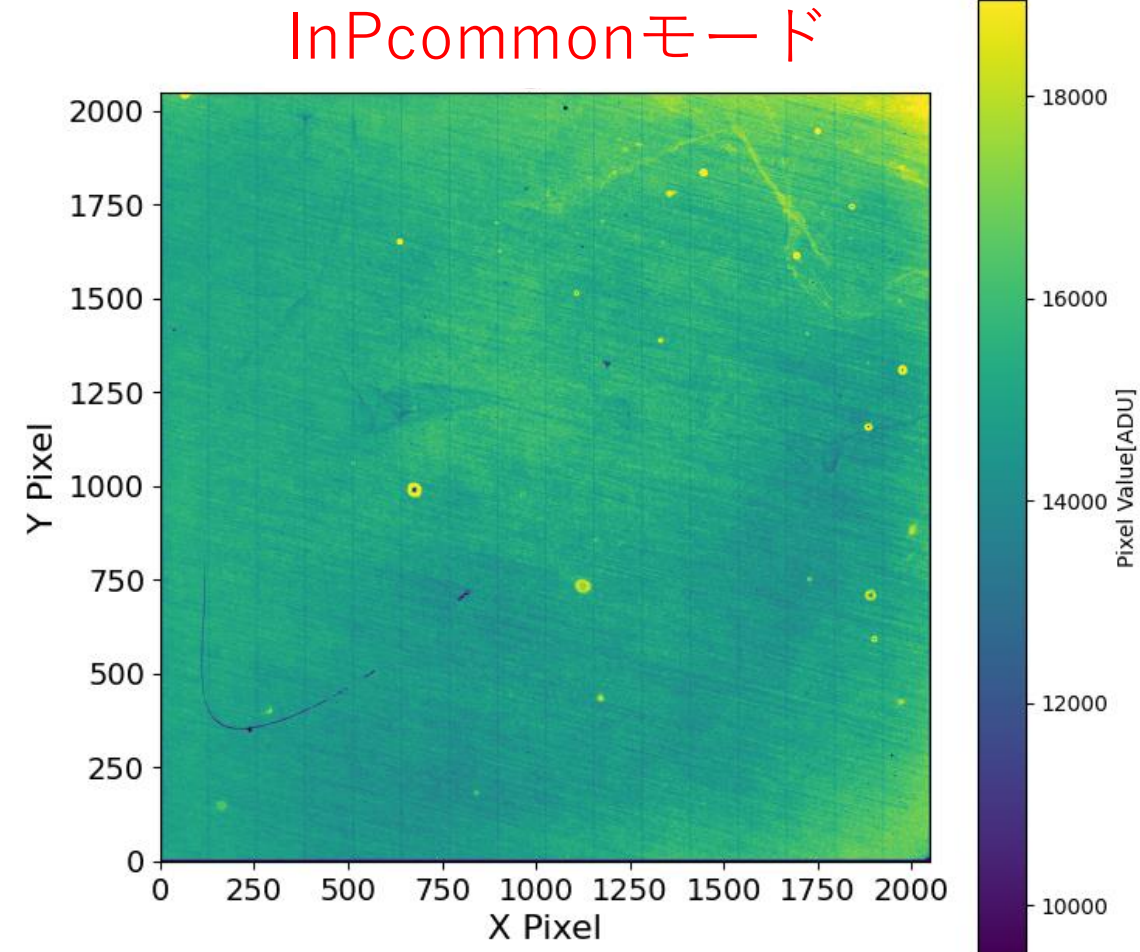
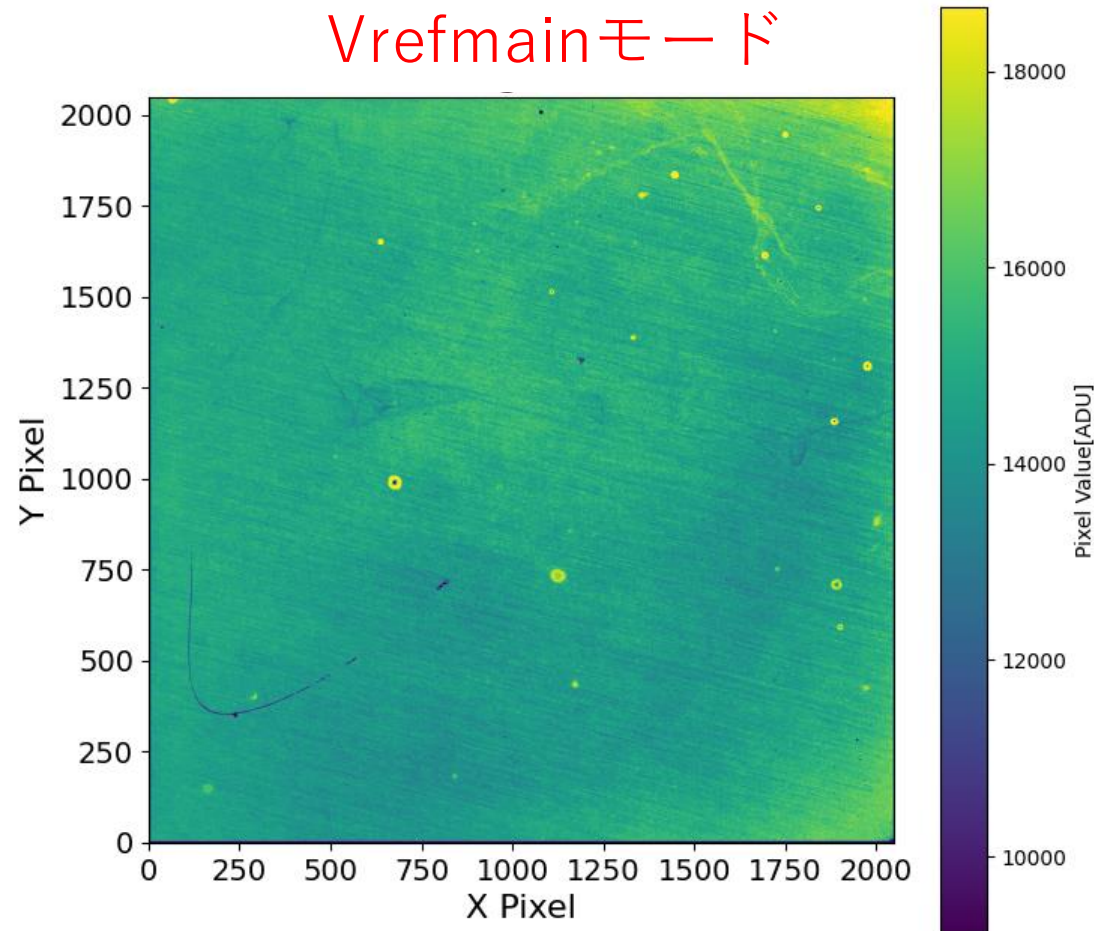
デュワー



実験環境写真 (国立天文台)



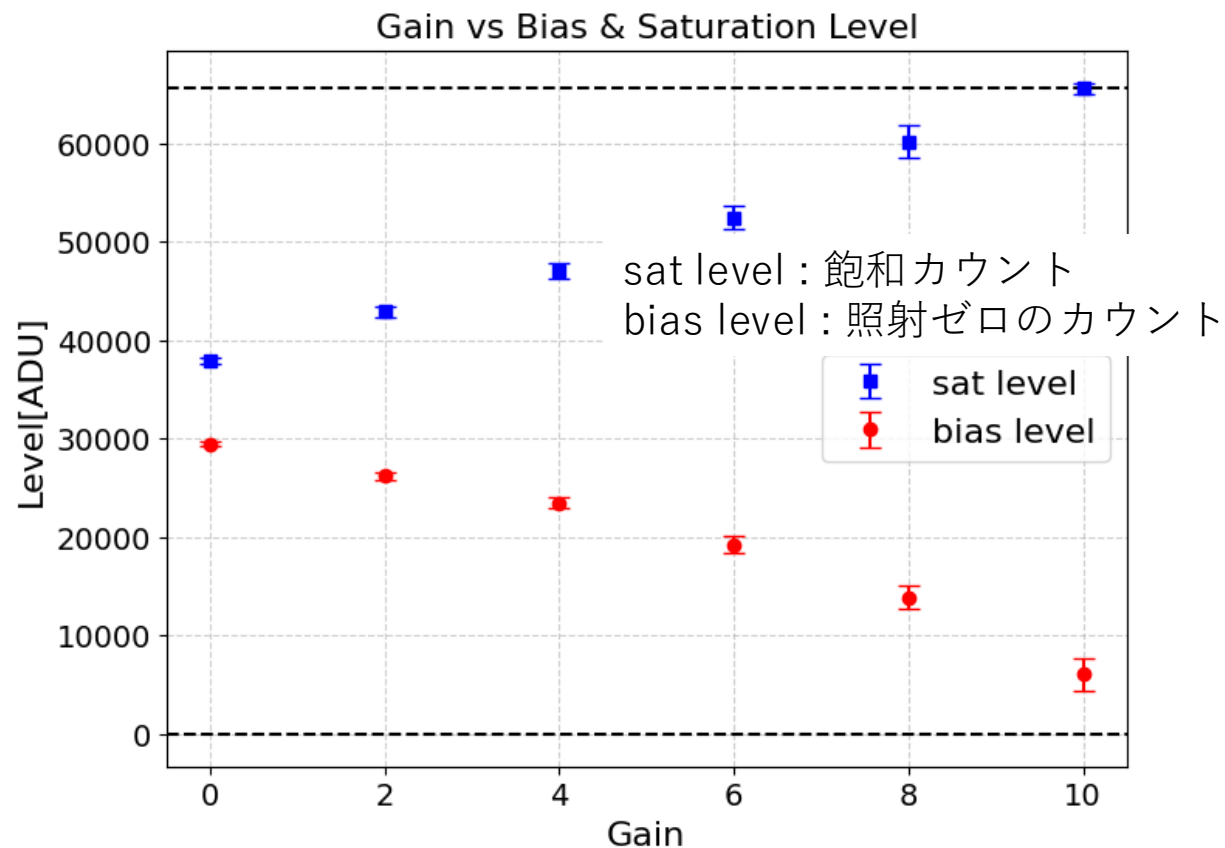
アンプ構成による出力画像の違い



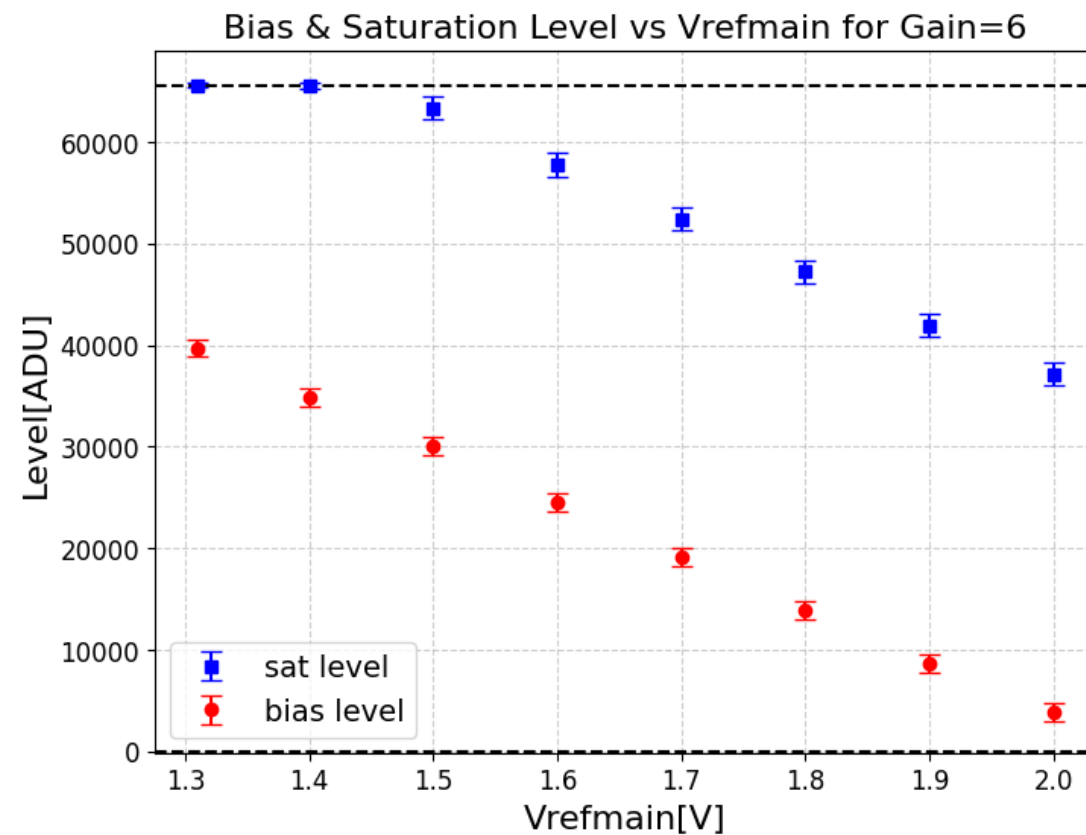
→ Vrefmainモードだと、読み出しチャンネル間の縦縞が消える

$G, V_{refmain}$ のダイナミックレンジへの寄与

- ゲイン(G)を増加させると、biasレベルが減少し、satレベル(飽和レベル)が増加する。



- preampの参照電圧 ($V_{refmain}$) の増加に伴い、bias/satレベルが負の方向にシフト



→ 0-65535ADUにリミットされない範囲で、 $G, V_{refmain}$ を調整する必要がある。

$G, V_{refmain}$ の読み出しノイズへの寄与

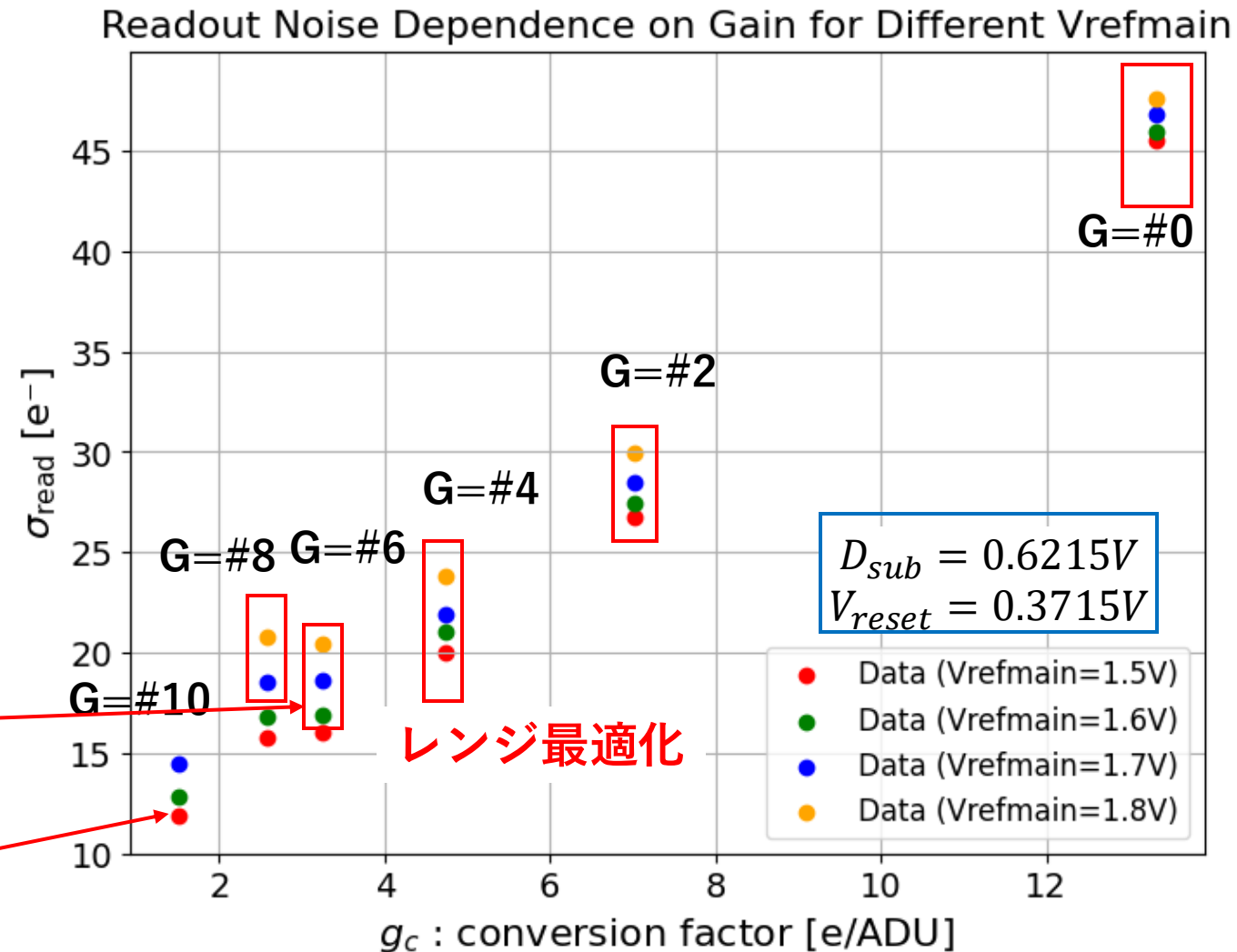
- ゲイン設定 G が大きい (conversion factor $g_c [e^-/ADU]$ が小さい) ほど、ノイズ抑制
- $V_{refmain}$ が小さいほどノイズ抑制

$$V_{refmain} = 1.6V, G = \#6$$

$$\sigma_{read} = 16.9e^-$$

$$V_{refmain} = 1.5V, G = \#10$$

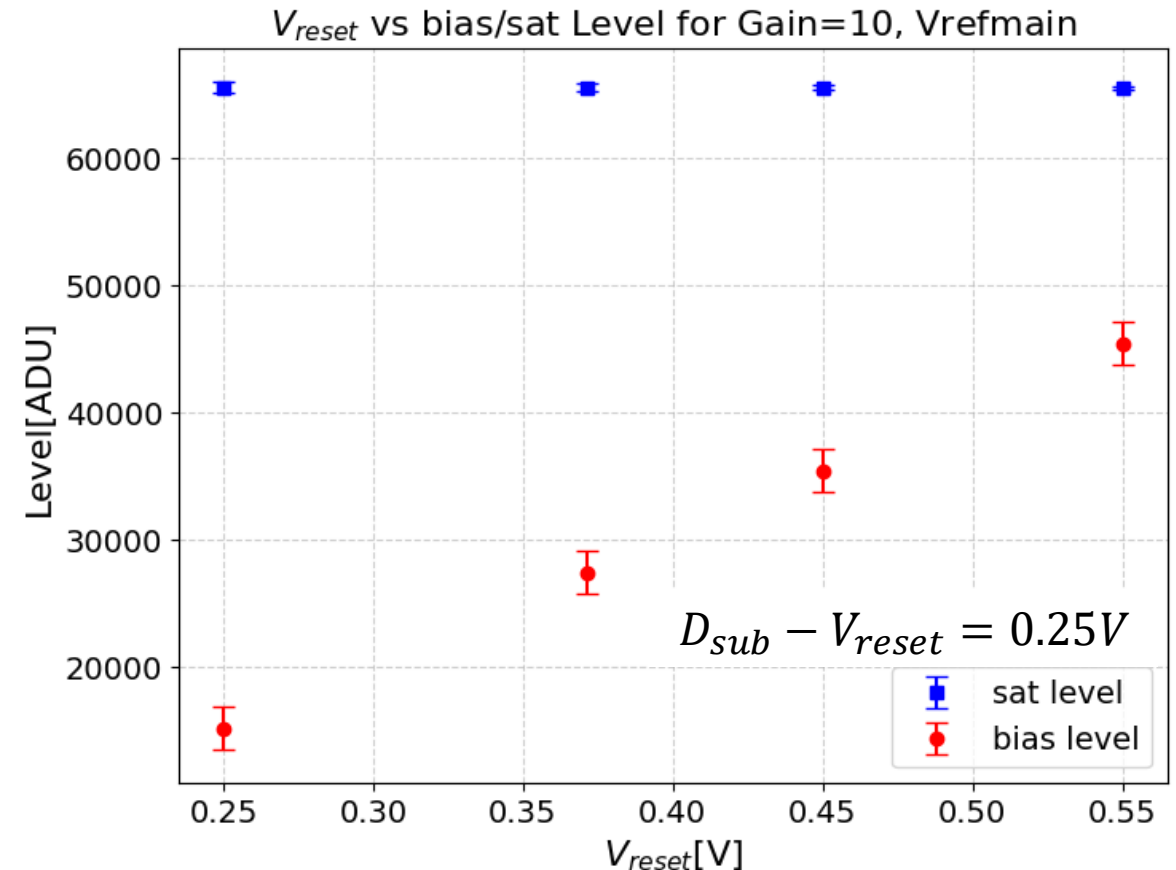
$$\sigma_{read} = 11.9e^-$$



D_{sub}, V_{reset} のダイナミックレンジへの寄与

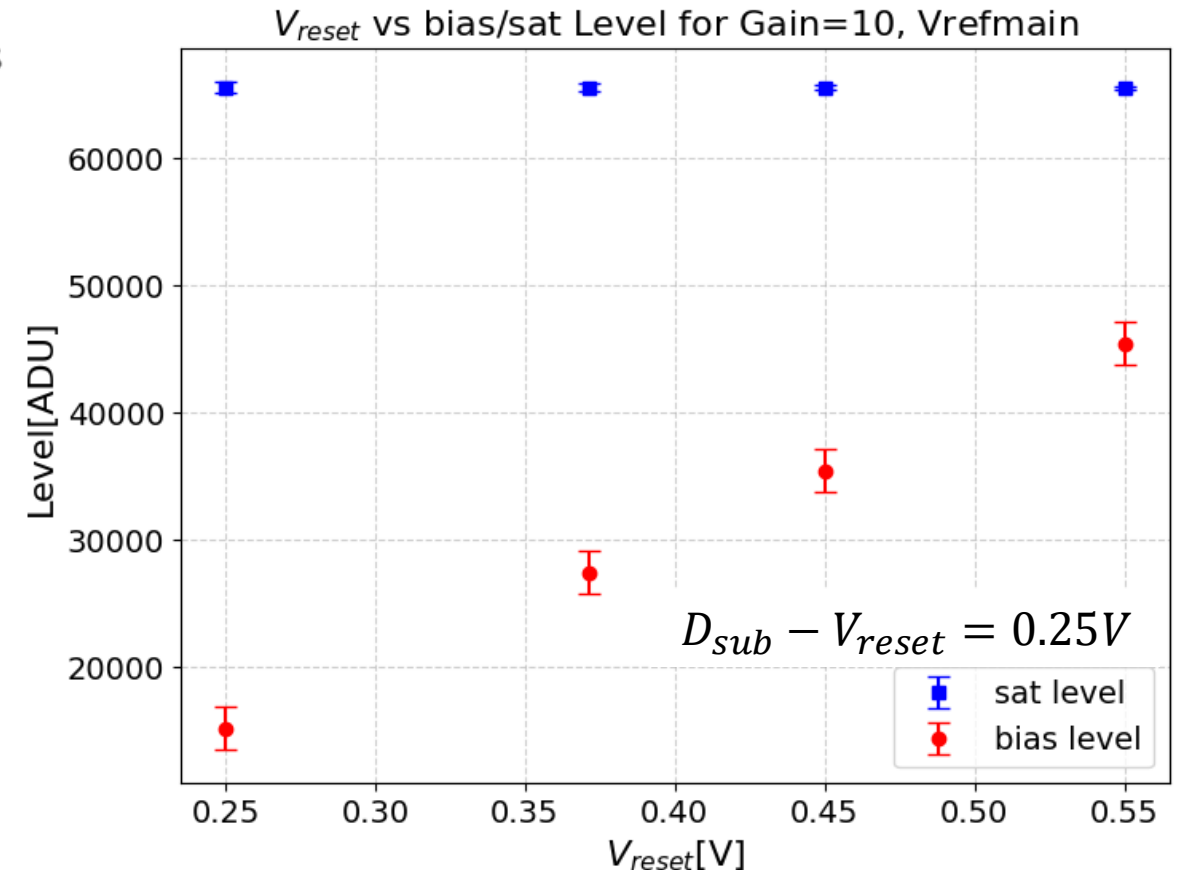
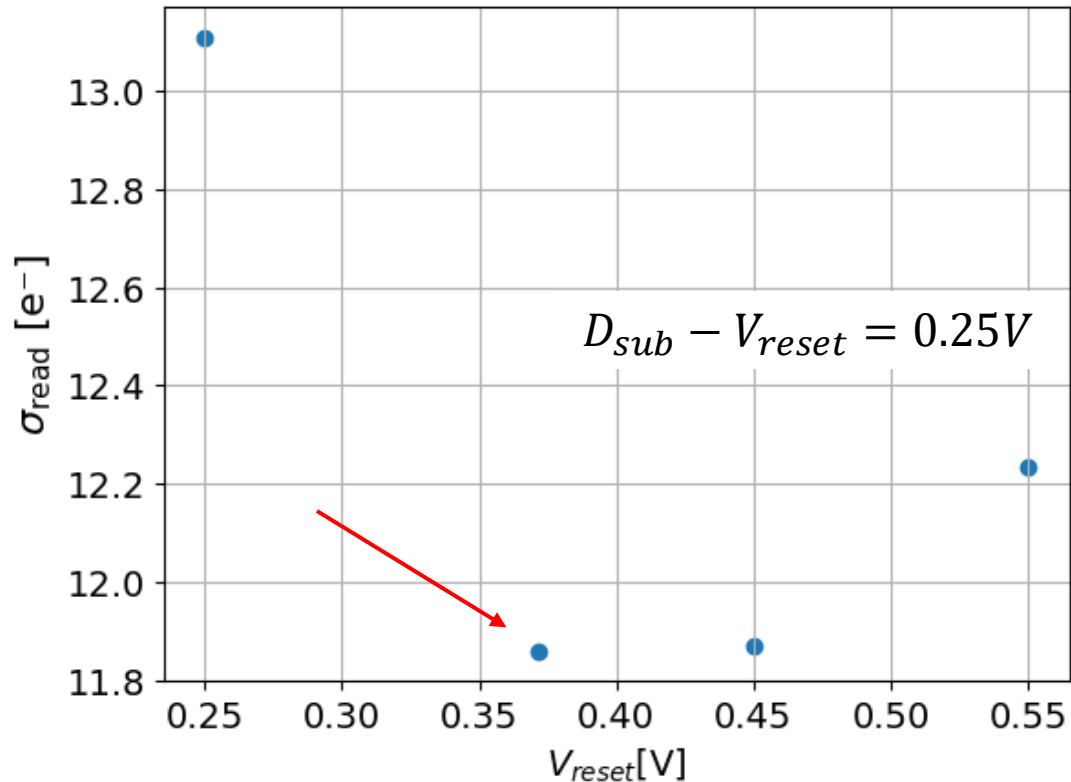
- フォトダイオードへの逆バイアス ($D_{sub} - V_{reset}$) を一定にして、 D_{sub}, V_{reset} をシフトさせると、ダイナミックレンジがシフトする。
- $G = \#10$ の下では、飽和レベルが、65535ADU でリミットされる。

→ この設定値において、 D_{sub}, V_{reset} の調整によるダイナミックレンジ最適化は不可能



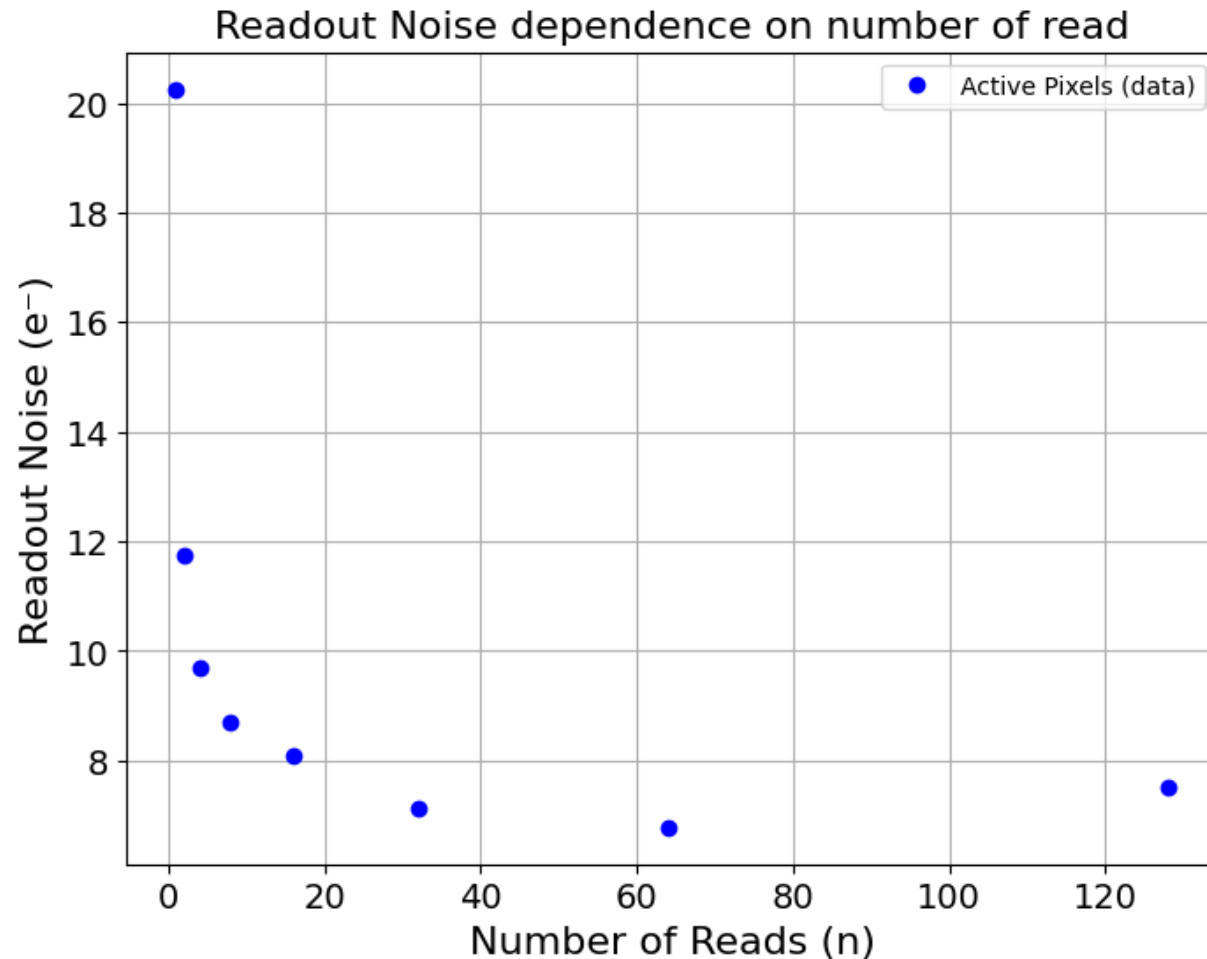
D_{sub}, V_{reset} の読み出しノイズへの寄与

Readout Noise Dependence on V_{reset} for constant reverse bias



- $D_{sub} - V_{reset} = 0.25V$ の下では、読み出しノイズは $V_{reset} = 0.3715V$ で最小
 → バイアスレベルが、65535ADUの半分付近に相当する設定

マルチサンプリングによる読み出しノイズの低減



- Fowler samplingの読み出し回数 (n) を増やすことで、実効的な読み出しノイズの低減を確認できた。
 - ここでは、 $\sigma_{read} = 6.8e^-$ が達成できた。
- 今後、NINJAで用いる検出器 (Sci.grade) でどこまで読み出しノイズの低減を達成できるか、確かめる。

検出器システムに与える調整パラメータ案

	設定案1	設定案2
アンプ構成	Vrefmainモード	Vrefmainモード
G	#6	#10
$V_{refmain}$	1.6V	1.5V
D_{sub}	0.6215V	0.6215V
V_{reset}	0.3715V	0.3715V
ダイナミックレンジ最適化 (サンプリング可能電子数)	○ ($\sim 100000e^-$)	△ ($\sim 50000e^-$)
$\sigma_{read} (n = 1)$	16.9e ⁻	11.9e ⁻

→ 天体の明るさによって、設定案を使い分ける想定

まとめ

- H2RG (Eng. grade, 1.7 μ m cut)を用いて、調整パラメータ ($G, V_{refmain}, V_{reset}, D_{sub}$, アンプ構成)が出力画像、ダイナミックレンジとノイズに与える影響を、実験により確かめた。
→ NINJA検出器システムのパラメータ調整に必要な手順を確立した。
- 確立した手法を用いて、NINJAで用いるH2RG (Sci. grade, 2.5 μ m cut)でのパラメータ調整に取り掛かる。