

Tomo-e Gozen calibration data analysis

瀧田 怜,

酒向 重行, 大澤 亮, 高橋 英則, 近藤 莊平, 森 由貴, 青木 勉 (東京大学),

Tomo-e Gozen コラボレーション

Topics

- Flat data
 - ドームフラットの安定性
 - スカイフラット or ドームフラット
- Dark data
 - 温度依存性調査
 - super dark 作成
 - => (今後) bad pixel 調査へ

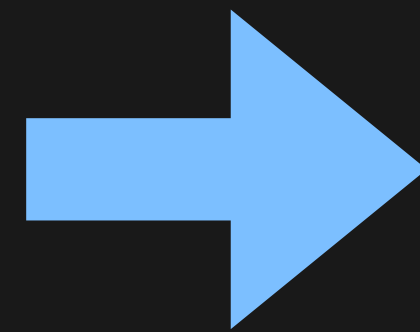
Uniqueness of Tomo-e Gozen

- 他の望遠鏡には無い特徴

- **広視野**: 直径 ~9 度

ドームフラットの大きさは十分か

- **温度制御無し**: 暗電流増加



ダークカウントの温度変化

- **動画観測**: 2--68 fps

長期保存は一次処理済み

二次元画像データ

(生データ、動画は残らない)

キャリブレーションデータの特性の把握

Dome Flat

- ・ ドーム内のフラットスクリーンを観測
- ・ フラット投光器は片側入射
- ・ フラットスクリーンは KWFC 以前のもの
 - ・ KWFC の FoV は 2.2 deg 四方
 - ・ Tomo-e Gozen では直径 9 度



Flat Screen

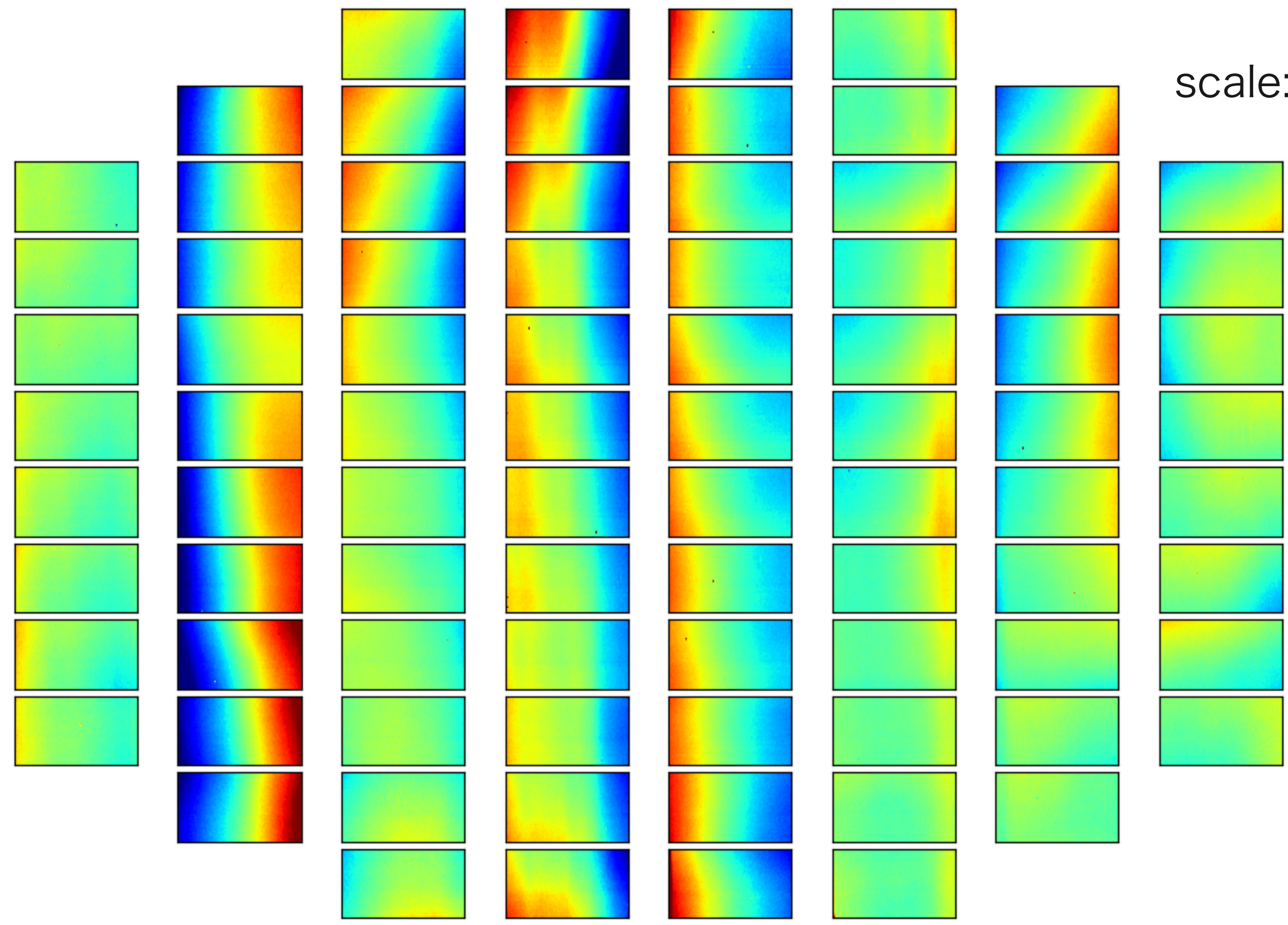
- ・ ドームフラットの調査 (by 近藤)
 - ・ スクリーンサイズ: 1980 mm x 2420 mm
 - ・ 必要なサイズ: 1480 mm => 十分大きい
 - ・ 投光器も十分広い面積を照らしている
 - ・ ドーム位置 (スクリーン位置)
 - ・ ドームの右回転・左回転による違い
 - ・ 2 度弱 => スクリーン位置が 20 cm 程度変化する
 - ・ 同じ向きにドームを回転させる (2021-12-21)
- ・ 諸々の調査結果を元に、望遠鏡光軸がフラットスクリーン中心を向くように調整



Daily Variation of Dome Flat

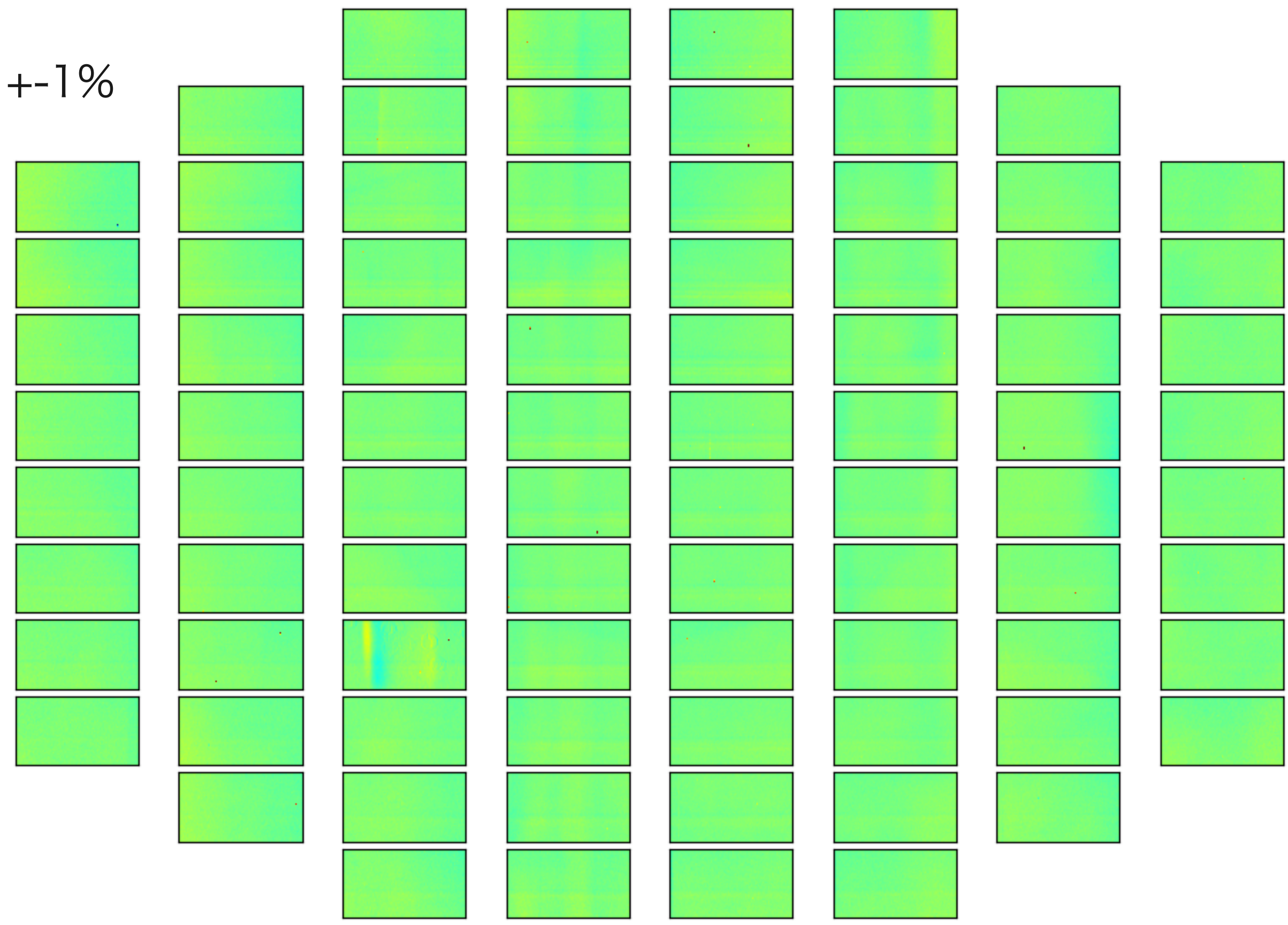
異なる観測日のフラットデータの比

DOMEFLAT RATIO (20211213/20211210)



ドームの回転方向が異なる場合

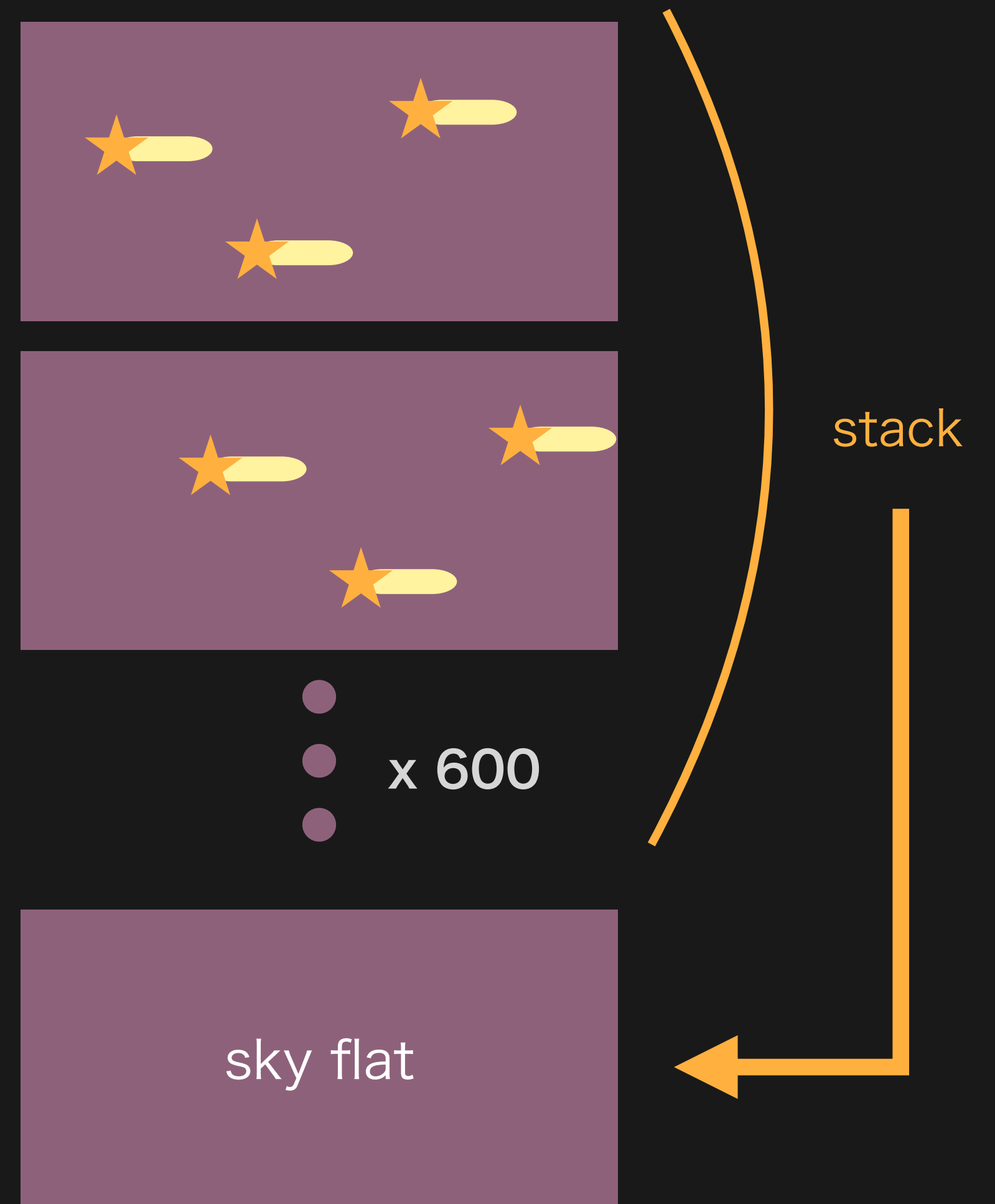
DOMEFLAT RATIO (20211214/20211210)



ドームの回転方向が同じ場合

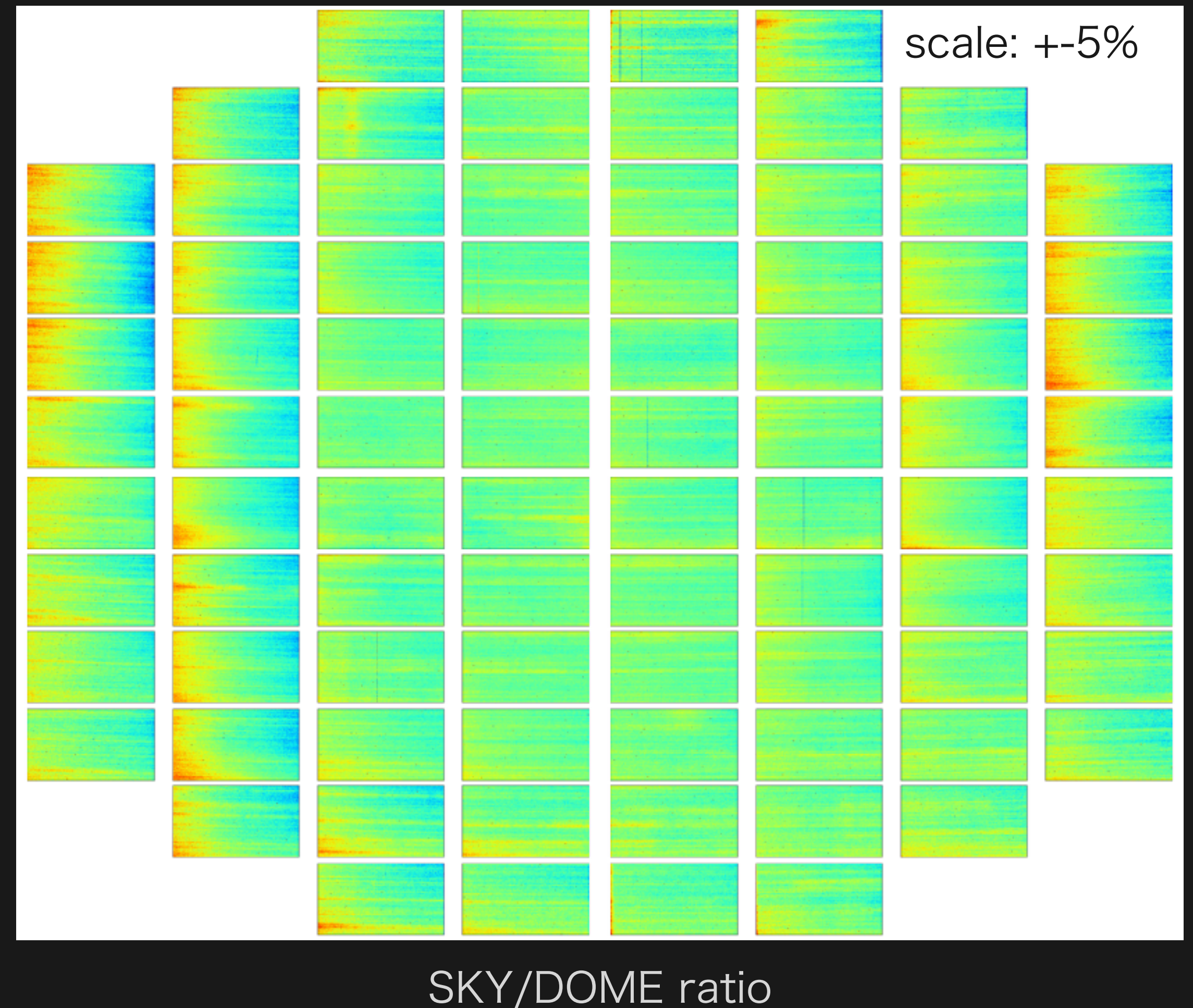
Sky Flat

- ・ 懸念点
 - ・ ドームフラットは片側入射
 - ・ twilight も直径 9 度に渡って一様とは限らない
- ・ blank sky を利用して sky flat を作成する
 - ・ ただし Tomo-e の視野にはかならず星は混入する
 - ・ トラッキングを使用せずに「流し撮り」
 - ・ 複数枚の画像スタッキングにより星を消す
 - ・ 迷光の影響を避けるために暗夜に行う
 - ・ 街明かりを避けるために天頂付近を観測する
 - ・ なるべく明るい星のいない領域を選定



Results of Sky Flat

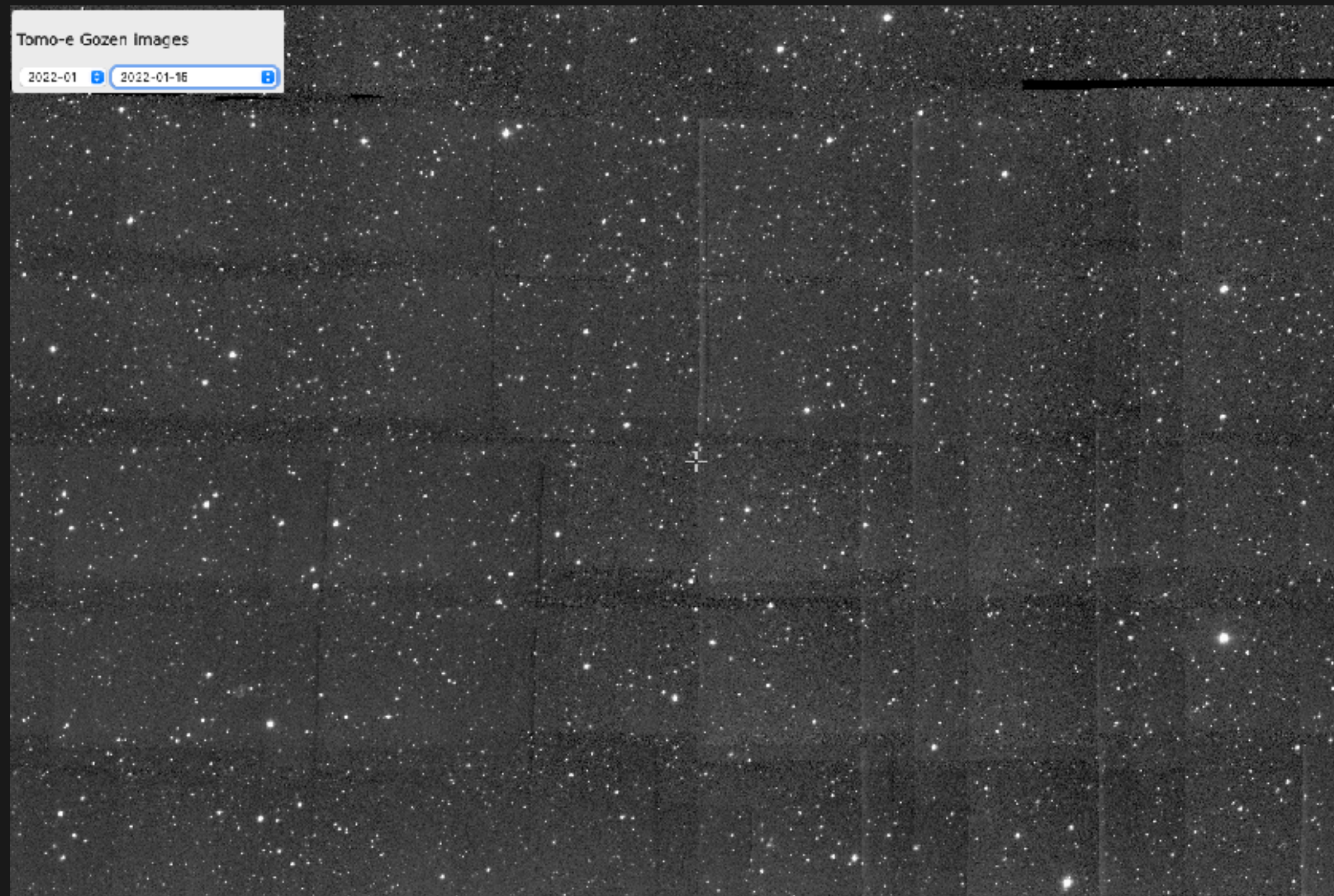
- 同じ観測日のスカイフラットとドームフラットの比
 - 東西方向に最大で $\pm 5\%$ の勾配
 - 南北方向にはほぼ平坦
 - ドームフラットが片側入射であることと矛盾しない
 - 視野端ほど差が出てくる
 - ブランクスカイでは十分な S/N を稼げないためざらつく
 - 若干の星成分の引き残し
- スムージングをかけて SKY/DOME のモデル作成
 - 作成したモデルを日々のキャリブレーション時のドームフラットに適用することで、「正しいフラット」を生成 (2022-01-22)



Verification of Sky Flat

2022-01-15

(スカイフラット適用前)



2022-01-28

(スカイフラット適用後)

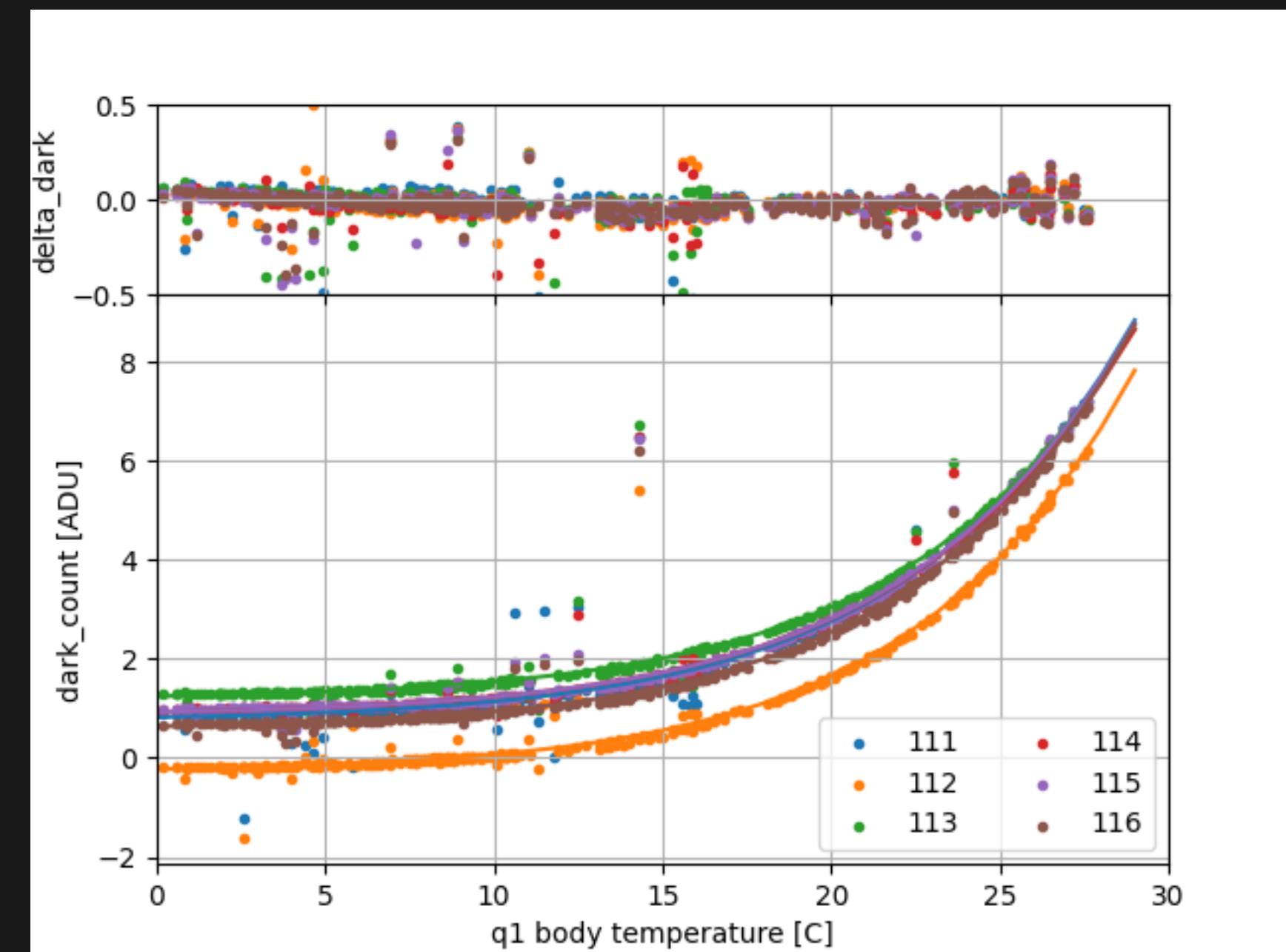


東西方向の勾配が消えていることを確認

Dark Data Analysis

Temperature Dependence

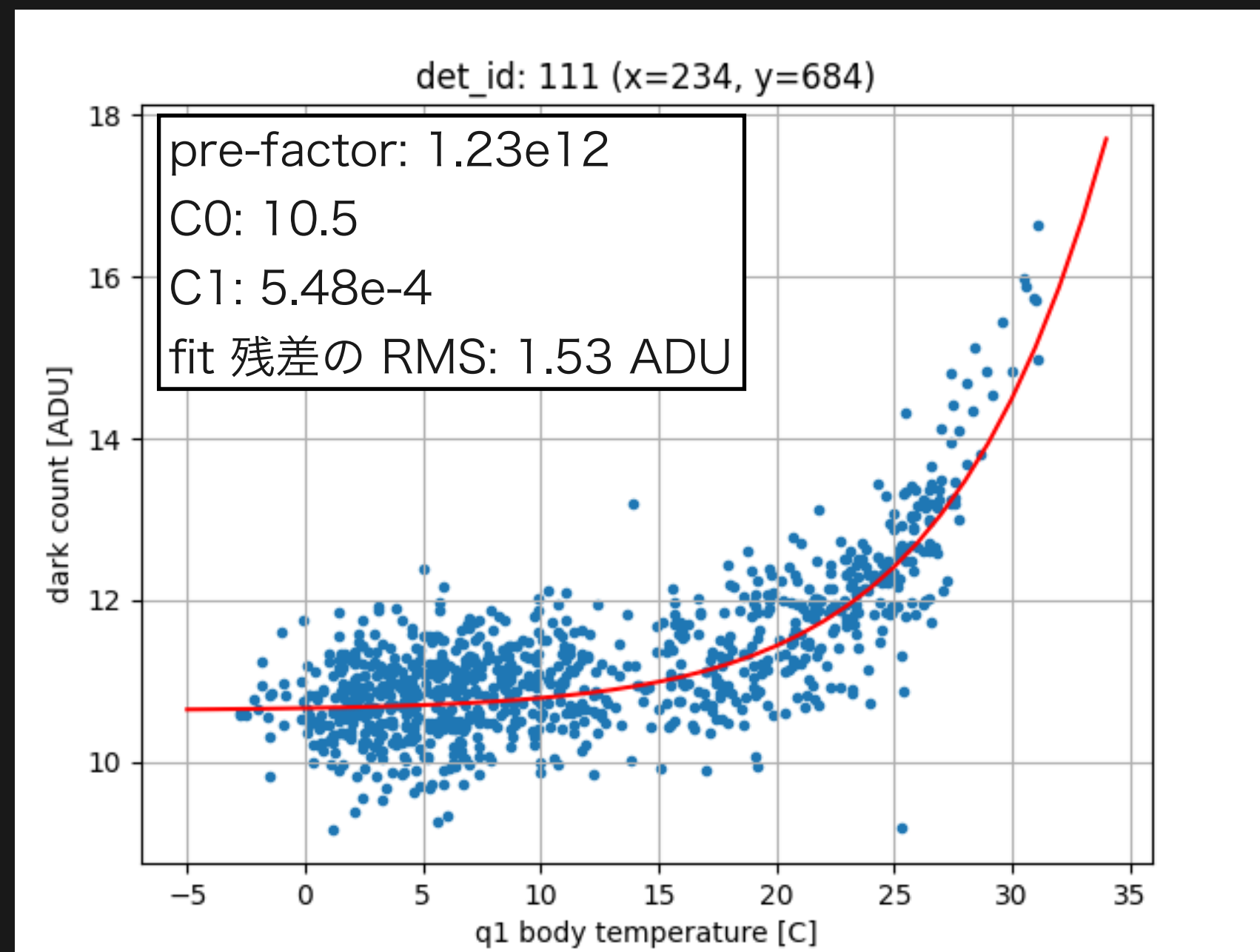
- ・ ダークデータの温度依存性調査
 - ・ 2019-10 の本格運用開始以降のデータ
 - ・ ダーク画像の中央値と温度には良い相関
 - ・ $\text{DARK} = A \exp(-B/T) + C$
 - ・ 一次処理でバイアスが引かれたことによる offset 成分
 - ・ 単純な offset ではなく、傾きを持つ
 - ・ 300K 程度の CCD のダーク特性 (Widenhorn+2002, SPIE)
 - ・ $\text{DARK} \propto T^3 \exp(-E_g/kT)$
 - ・ $E_g(300\text{K}) \sim 1.14[\text{eV}]$
 - ・ CMOS でも同様の傾向だろう
- ・ ピクセル単位で温度依存性を求めることで super dark を作成可能



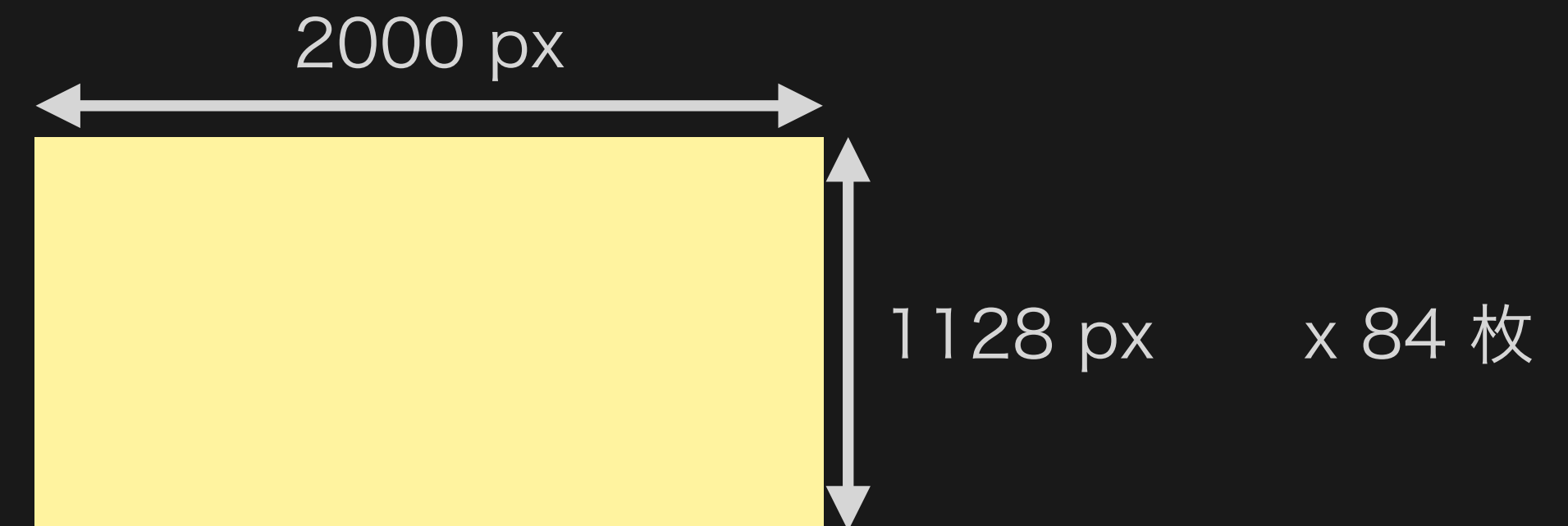
det 111--116 のダーク画像の median
VS
検出器温度

Superdark Fitting

$$\text{DARK} = \text{pre_factor} \times T^3 \exp(-13229/T) + C0 + C1 \times T$$



ある pixel に対するフィッティング結果



2000 x 1128 x 84 の約 200 Mpixel に対して
pre-factor, C0, C1 を求める。

力技
並列処理 (40 並列で三日)

戦いは数だよ
兄貴!

Fitting Results

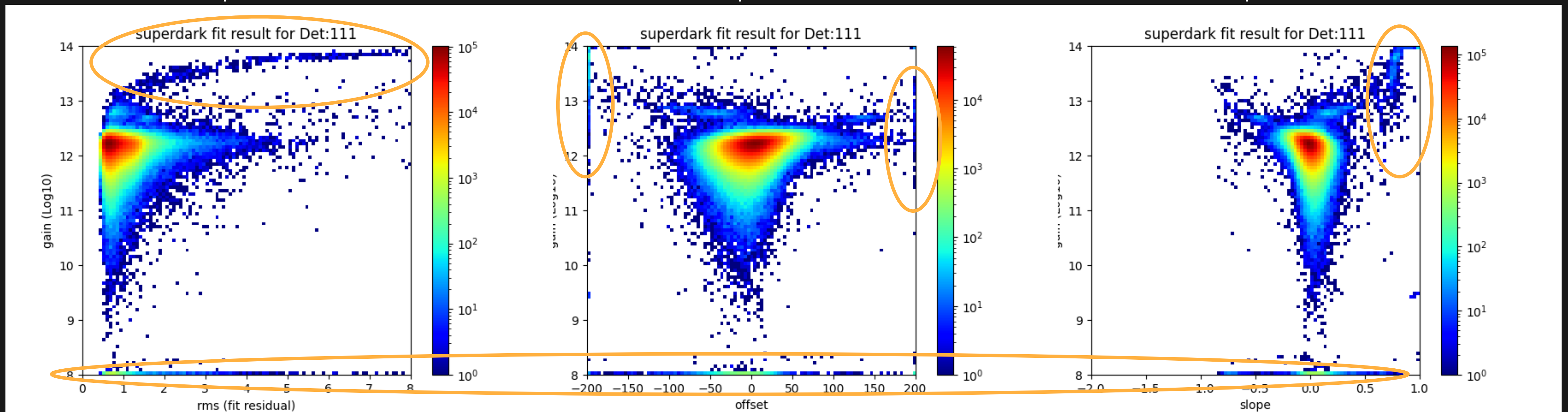
det111 のピクセルについて fitting の結果を確認

$$\text{DARK} = \text{pre_factor} \times T^3 \exp(-13229/T) + C0 + C1 \times T$$

rms vs pre-factor

C0 vs pre-factor

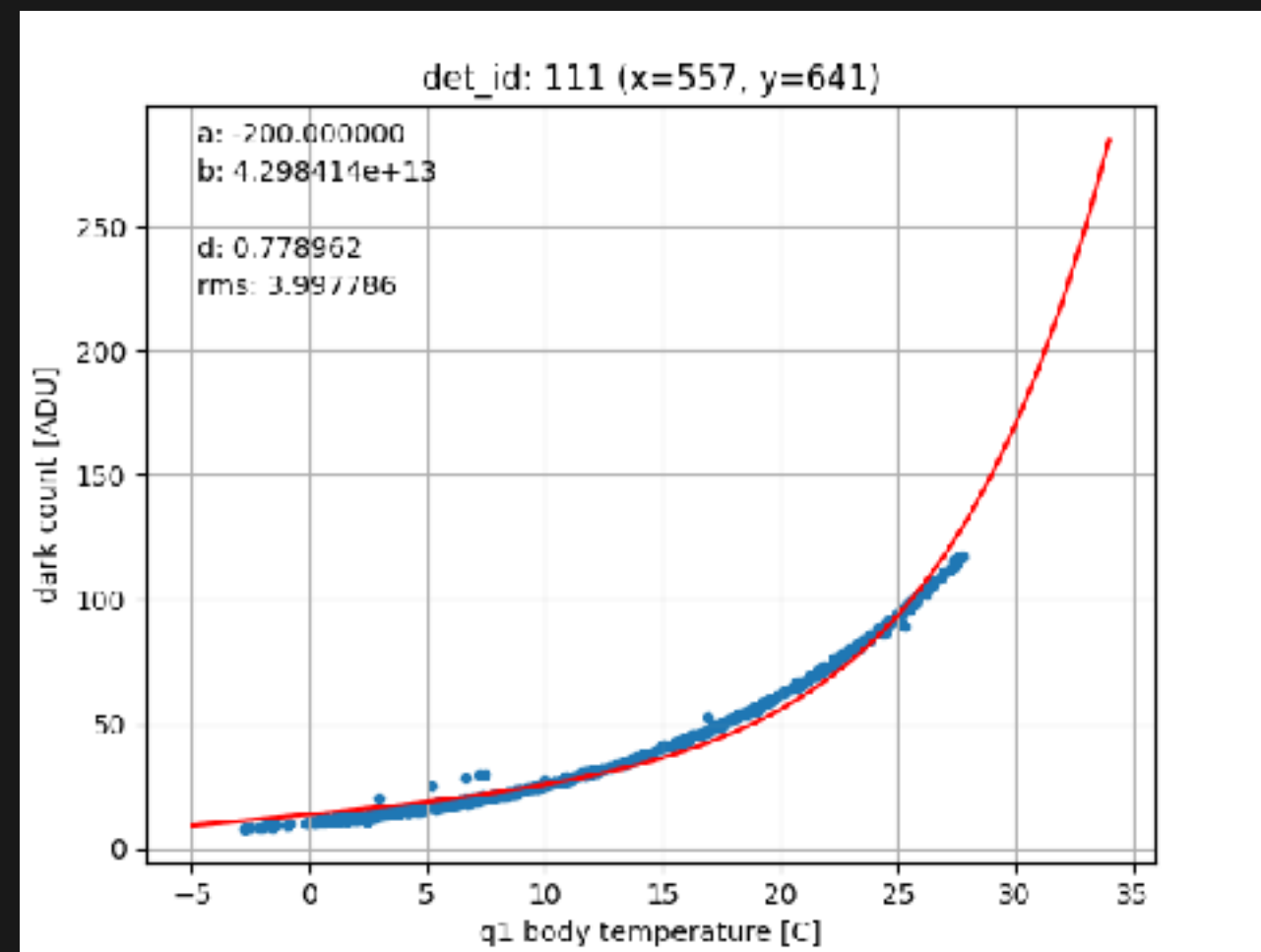
C1 vs pre-factor



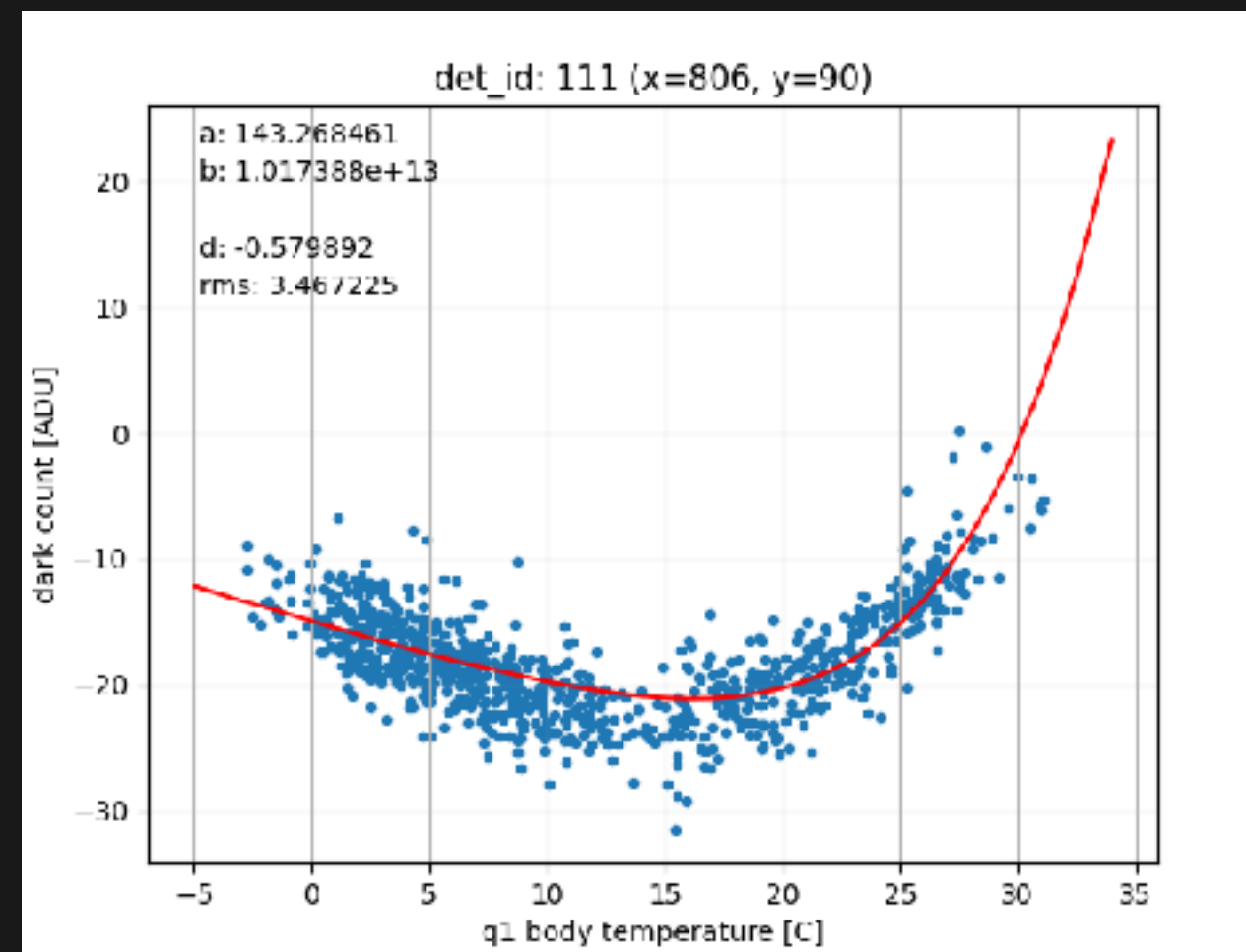
fitting に失敗したデータ => bad pixel?

Outlier (1)

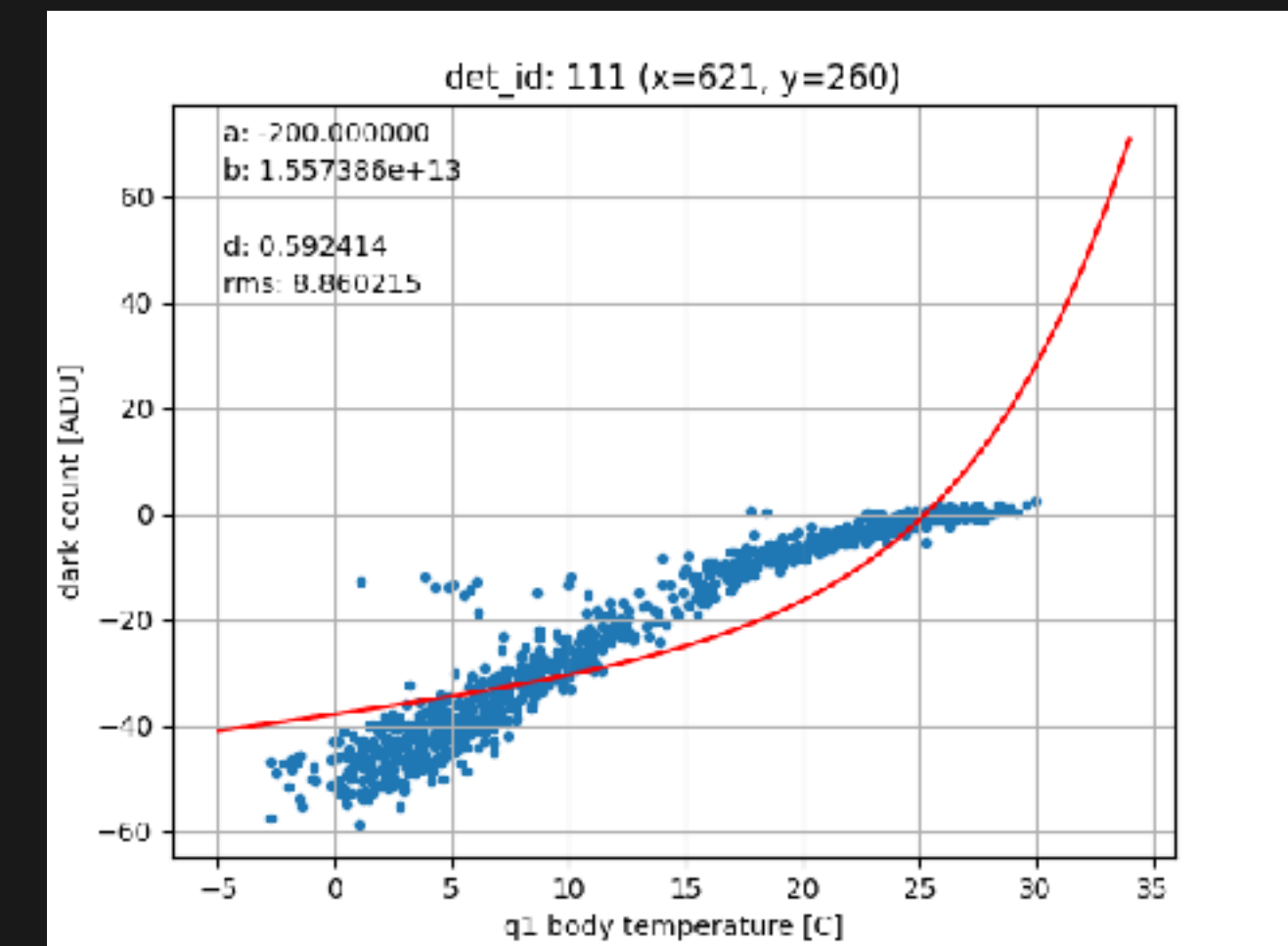
fitting 結果のあまり良くない例



関数形を変えればフィットできそう



ちょっと怪しい

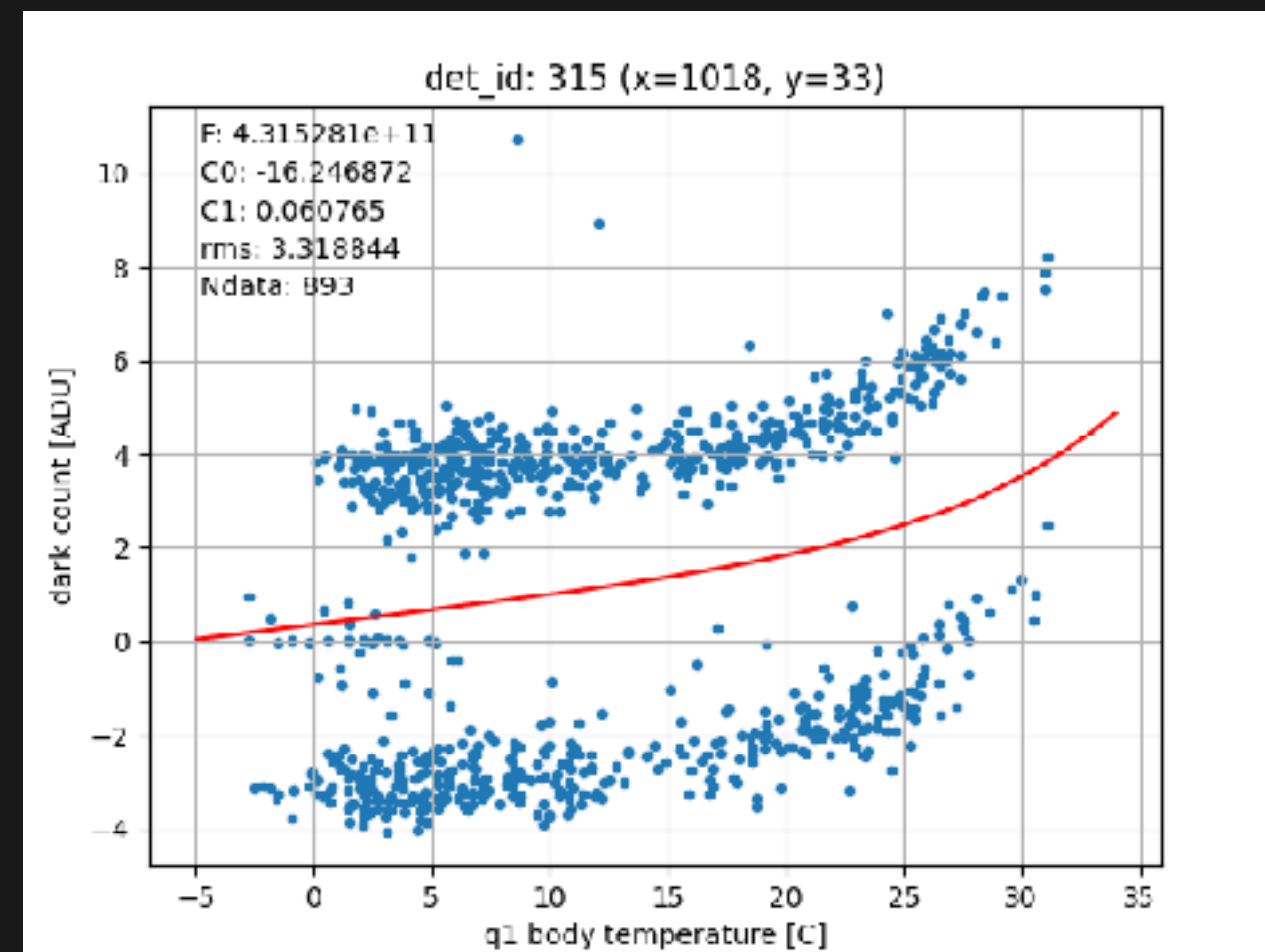


これはダメな例

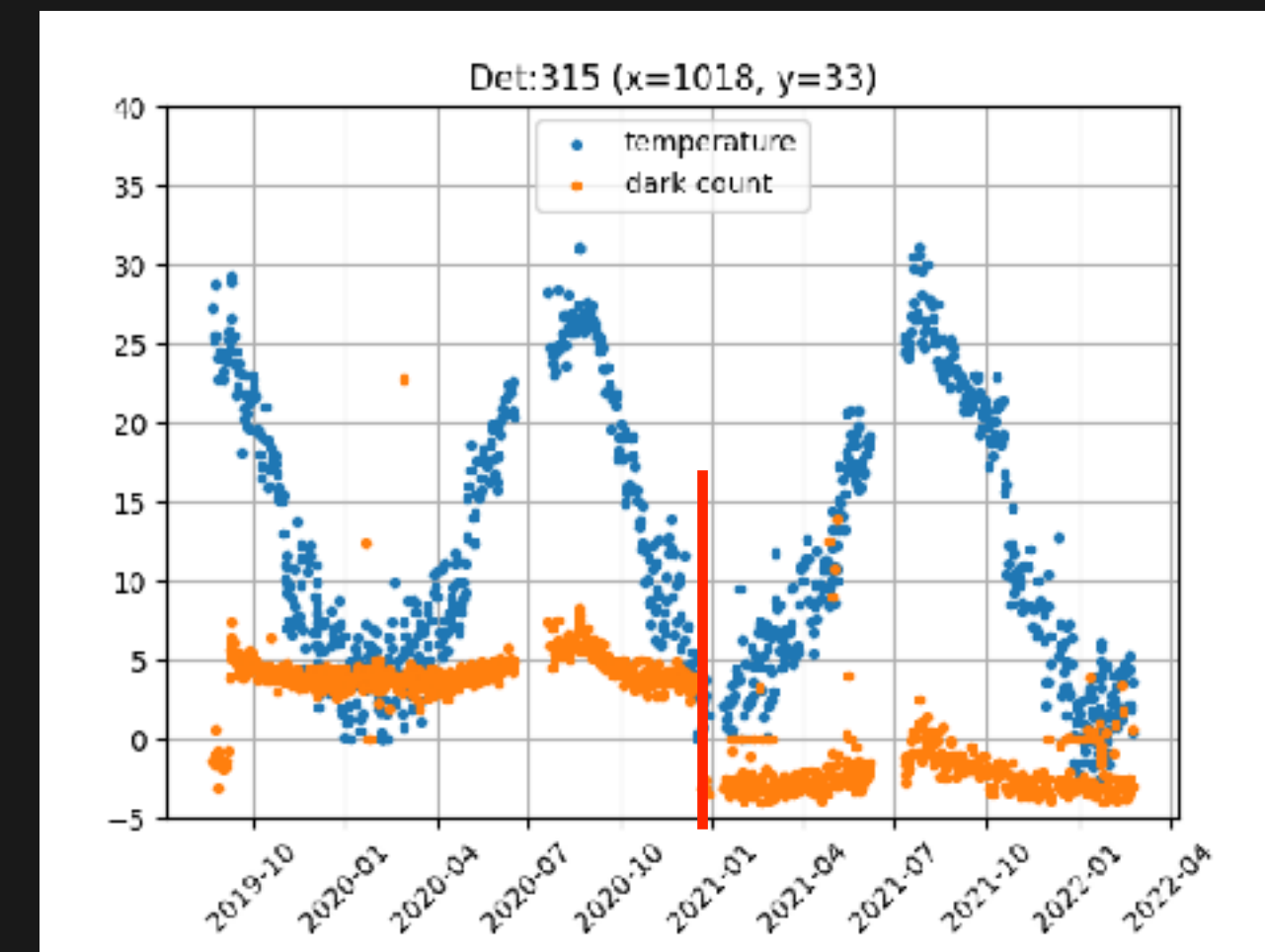
Tomo-e Gozen のサーベイ時の dithering は
検出器間の隙間を埋めるのが目的であり、
bad-pixel の補完はされない。
=> なるべく多くのピクセルを救いたい。
bad-pixel の定義は検討中。

Outlier (2)

主に Q3 の検出器に不自然な振るまいをするピクセルが存在



DARK vs Temp.



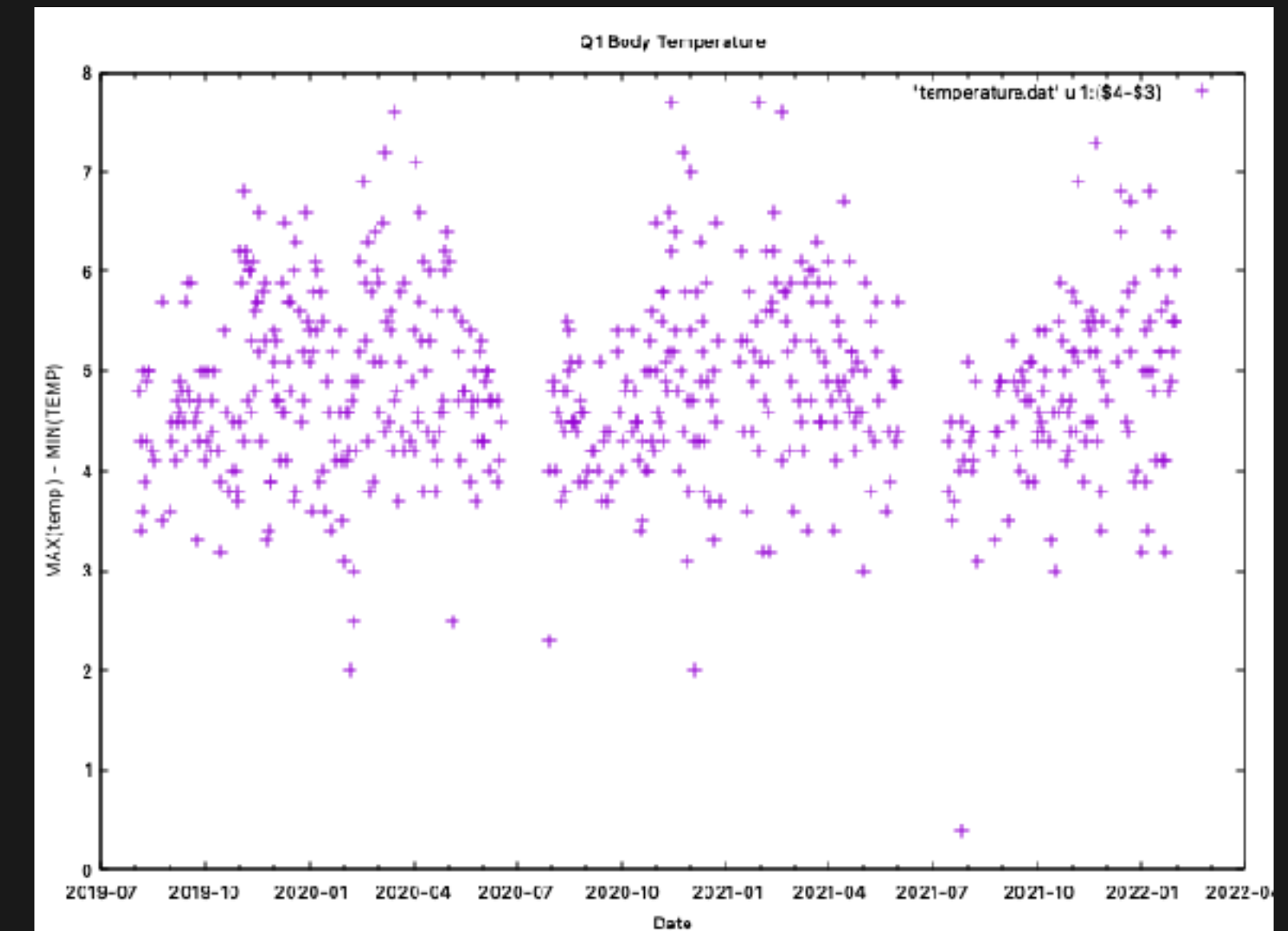
DARK vs Date

特定の日を境に振るまいが変化。ただし、この日に装置の変更はしていない。 => 謎
フラットデータを確認したところ、感度変化は起きていない。 => ダークのみ変化

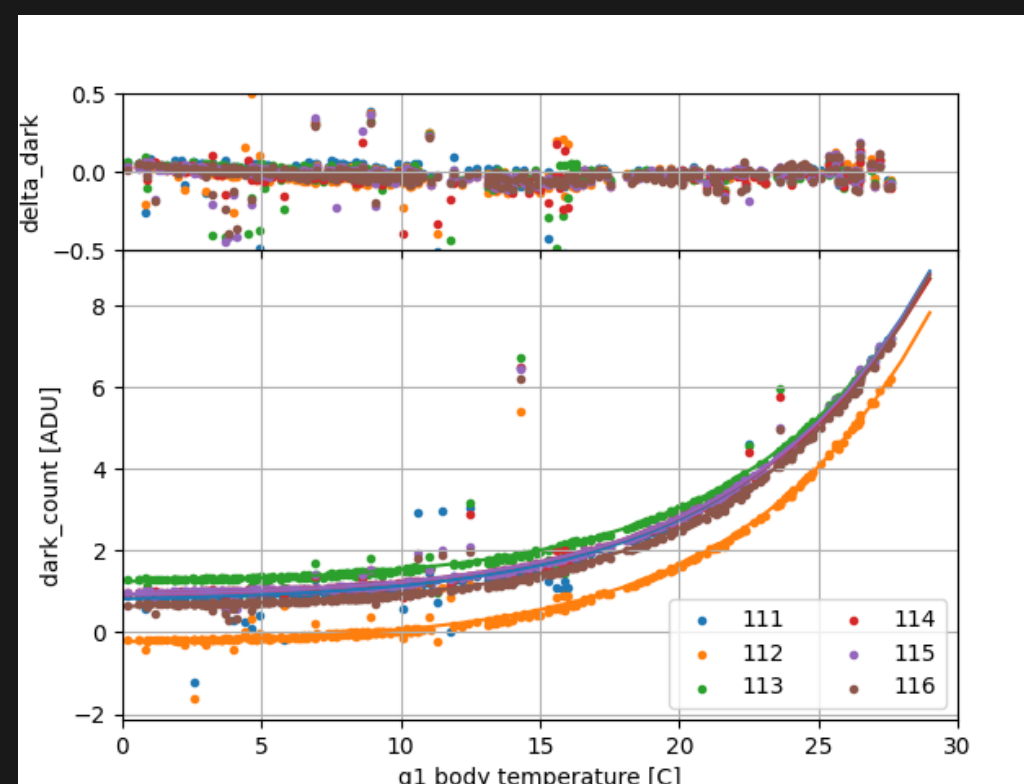
その他、configuration を変更すると変化する可能性。
=> 定期的な調査が必要

Overnight Temp. Fluctuation

- Tomo-e Gozen は温度制御していない
 - 夕方から明け方にかけて自然冷却
 - 季節によらず 5 度程度変化
- 夕方に取得したダークを一晩利用
 - Superdark による温度変化の影響
 - 35->30C: ~5 ADU
 - 5->0C: ~0.04 ADU
 - blank sky は ~200 ADU



観測日毎の温度の最大値と最小値の差



Summary

- Flat data

- フラットパターンは 1% 程度で安定
- スカイフラットによるドームフラットの補正



- Dark data

- 温度依存性を確認
- Superdark モデルの作成
 - 一部のピクセルではフィットが正しくできていない
 - 特定の日を境に振るまいが変わるケース
 - 定期的な調査が必要
 - bad-pixel については検討中
- 一晩の間に約 5 度温度が下がる