

# JASMINEによる系外惑星探査に向けた 望遠鏡姿勢ドリフトによる 測光安定性への影響評価

ISAS/JAXA

笠木 結

河原 創 (ISAS/JAXA), 平野 照幸 (ABC / NAOJ / 総研大),  
大澤 亮 (NAOJ), 上塚 貴史 (東京大学), JASMINE チーム



# JASMINE プロジェクト

## Japan **A**strometry **S**atellite **M**ission for **I**Nfrared **E**xploration

主鏡口径: 36 cm

検出器: 2k x 2k InGaAs IR arrays x 4枚

波長: 0.9 – 1.6  $\mu\text{m}$

軌道: 太陽同期軌道

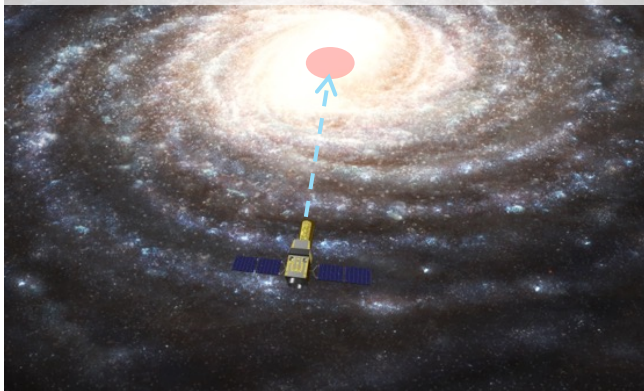
高度: 600 km

打ち上げ: 2030年代前半予定

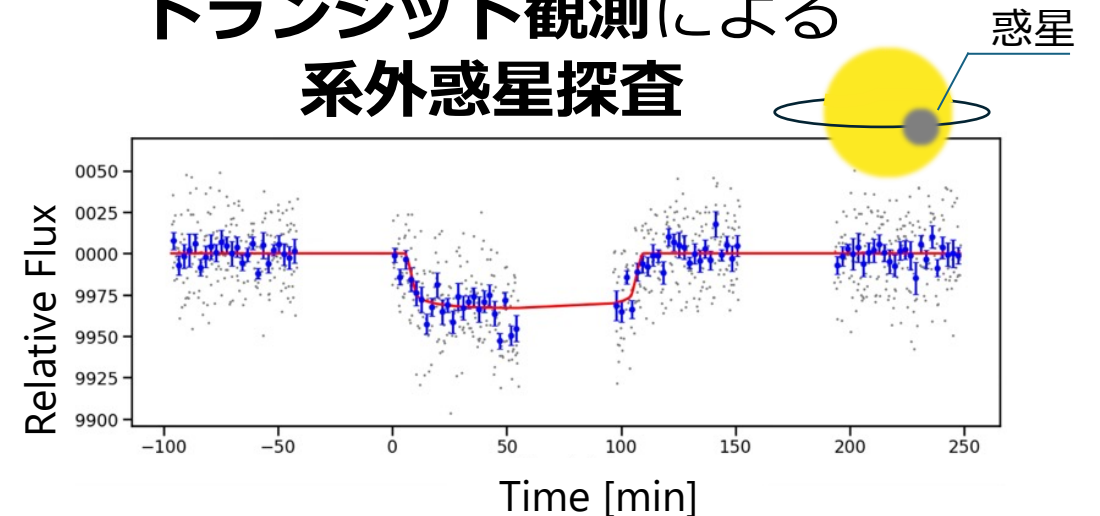


### Science

#### 位置天文観測による 銀河系中心核構造の探究



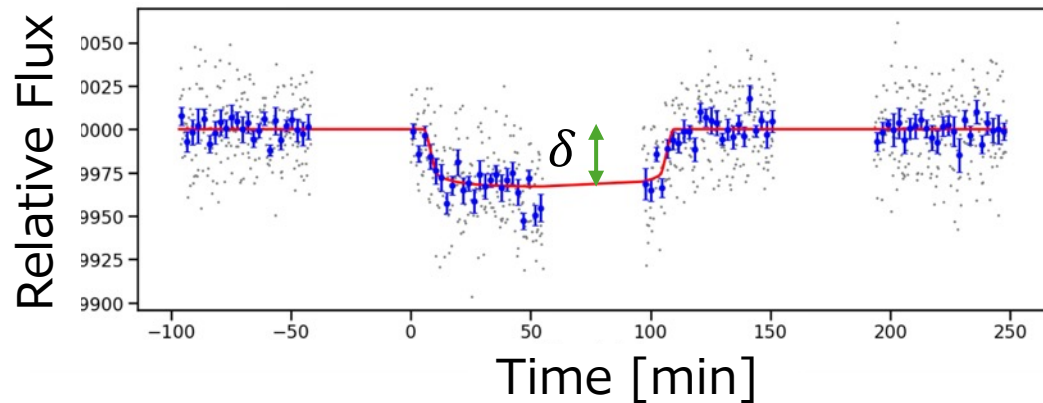
#### トランジット観測による 系外惑星探査



# JASMINE での系外惑星探査

- JASMINE では中期M型星をターゲットとしたトランジット観測を行う

太陽型星よりも低温 ( $T_{\text{eff}} \sim 3000 \text{ K}$ )  
{- ハビタブルゾーンが主星近くに存在  
{- 近赤外線で見える



↑ systematic な光度変動がない

- トランジット深さ:

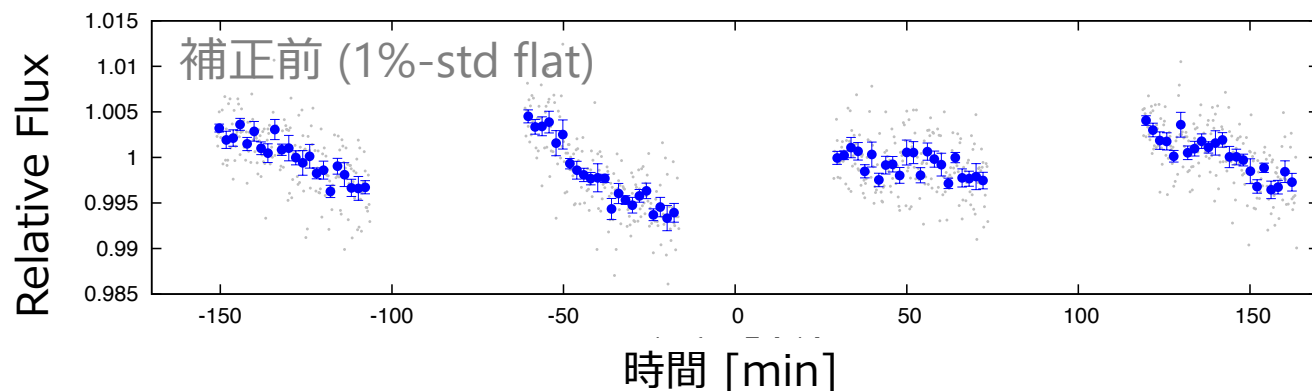
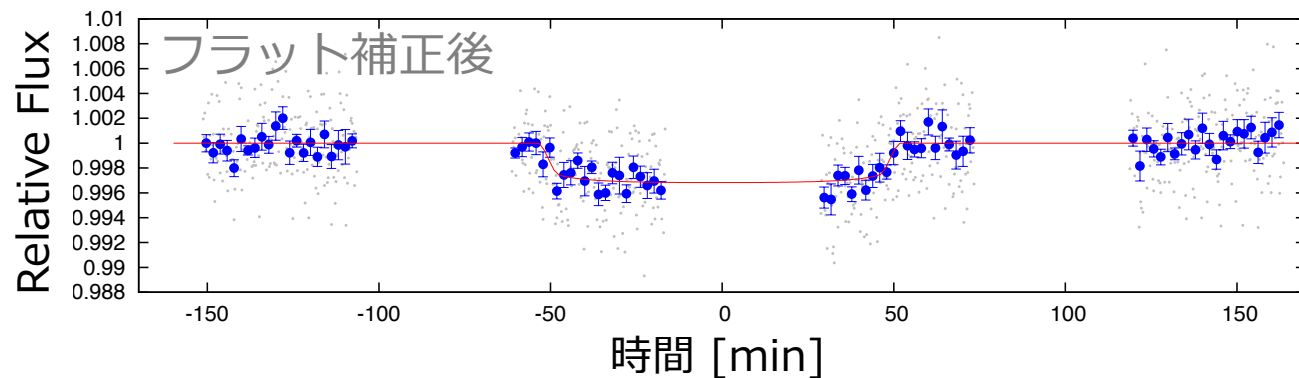
$$\delta = \left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2$$

- $R_s = R_{\odot}, R_p = R_{\text{Earth}} \rightarrow \delta \sim 0.01\%$
- $R_s = 0.2R_{\odot}, R_p = R_{\text{Earth}} \rightarrow \delta \sim 0.3\%$   
(M型星まわりの地球サイズ惑星)

0.3% のシグナルを検出できる測光観測が必要

# 測光観測におけるフラット補正の影響：これまでの研究

JASMINE による測光観測シミュレーション (単純開口測光)



- 理想的には  $J = 10$  mag の天体に対して 0.15% の測光精度が期待される

- フラット補正なしだと測光精度は 1.5~2 倍程度悪化する
- 星像位置が変化し、感度の異なるピクセル上を移動すると見かけの明るさが変動してしまう

JASMINE 衛星による精密測光観測 I, II,  
平野 et al. (2022 春季年会 P327a, 秋季年会 Z221a)

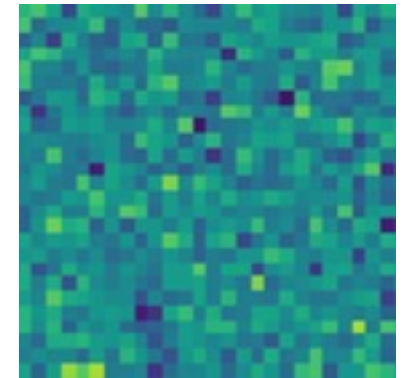
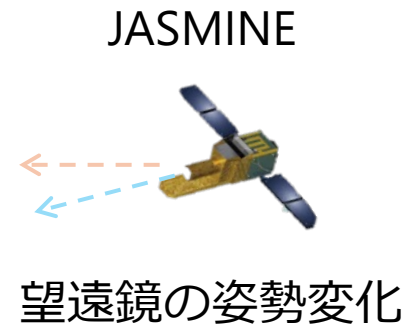
# JASMINE でのフラット補正と星像位置の変化

## フラット補正手法：

- Kepler, TESS では衛星の精密な指向制御により星像位置を検出器上で固定
- JASMINE では軌道上でのフラット補正 (多田 et al. 2023 春季年会 V250a)  
または, 恒星PSFを用いたフラット補正 (平野, 宮川 et al. 2022 秋季年会 Z221a) を検討中

## 望遠鏡の指向方向の安定性:

- どの程度の安定性が実現できるかはまだわかっていない
- 例えば 200 mas/10秒 → 150 pixel/50min  
(検出器ピクセルスケール:  $\sim 0.4$  arcsec/pixel)



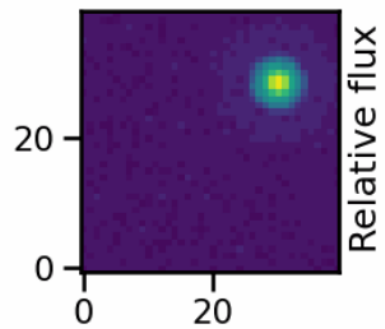
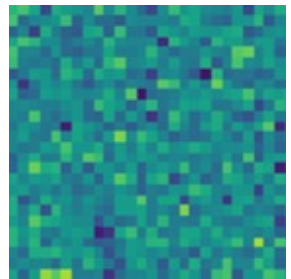
ピクセル間感度ムラ

観測期間中に星像が検出器面上を移動する場合、  
どのレベルまでピクセル間感度ムラを補正する必要があるか？

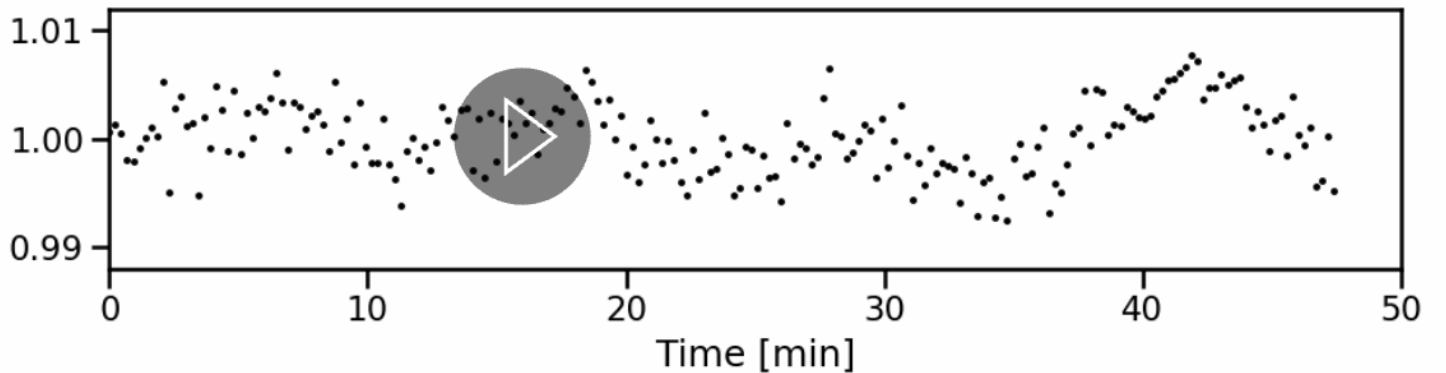
# 測光観測のシミュレーション

- *jasmine-imagesim* (Kamizuka et al. 2024) を用いて画像を作成
- JASMINE が地球を一周回するうち、半分の時間 (約50分間) ターゲットを観測
- 星像を一定方向にドリフトさせ、**50 分間の測光値の安定性を評価**

フラット補正で補正しきれなかった  
感度ムラがある状況を想定



$H_w = 10.5$  mag の星を露光時間 12.5s で観測 (黒点)



## ドリフト

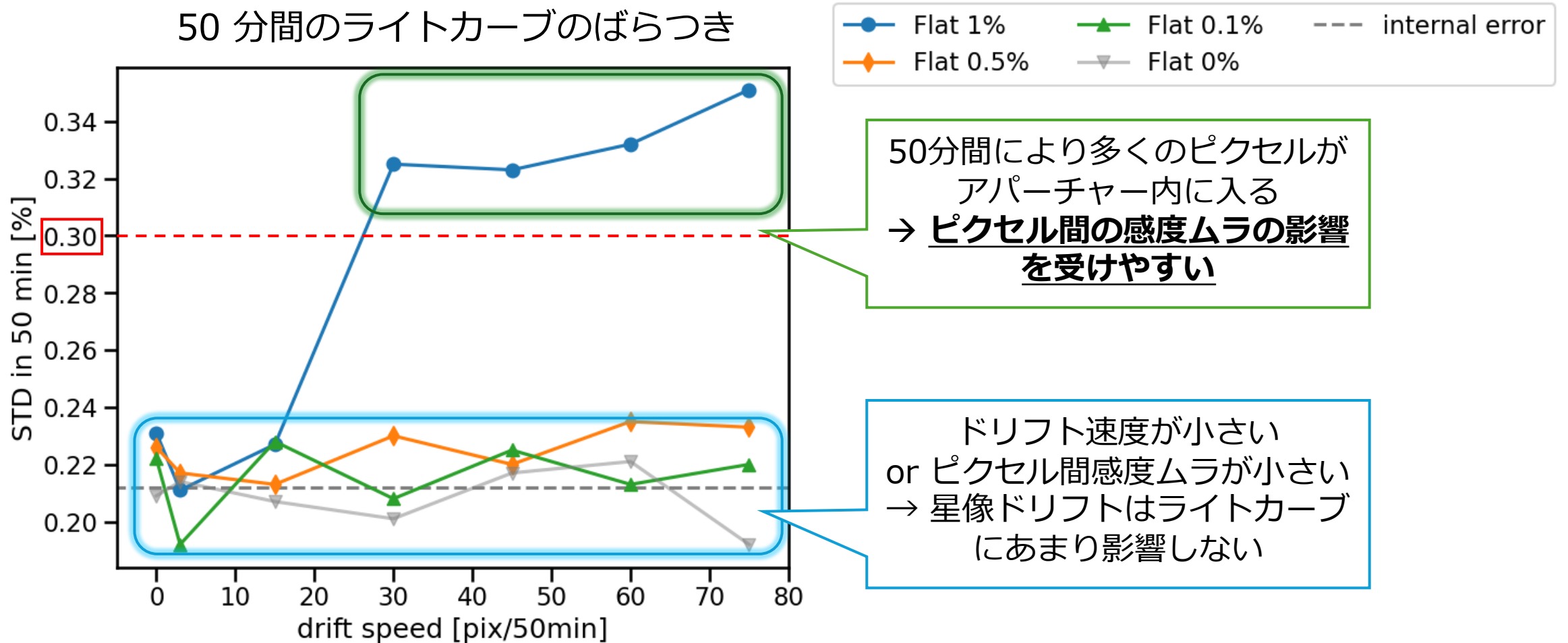
方向 [rad]	0.75
速度 [pix/50min]	{0, 3, 15, 30, 45, 60, 75}

## 検出器

ピクセル間感度の STD (フラット補正誤差) [%]	{0, 0.1, 0.5, 1}
--------------------------------	------------------

# シミュレーション結果

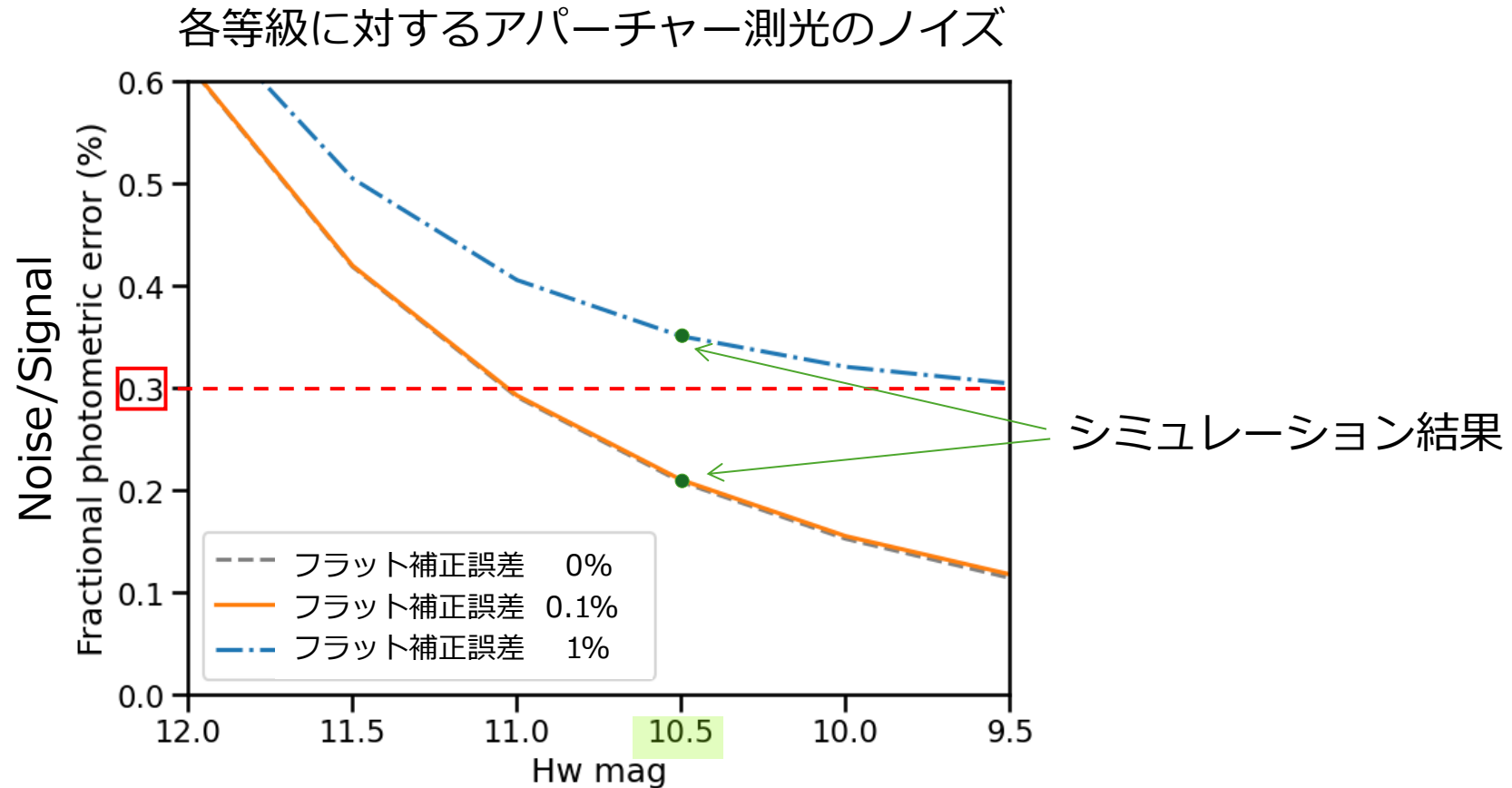
50 分間のライトカーブのばらつき







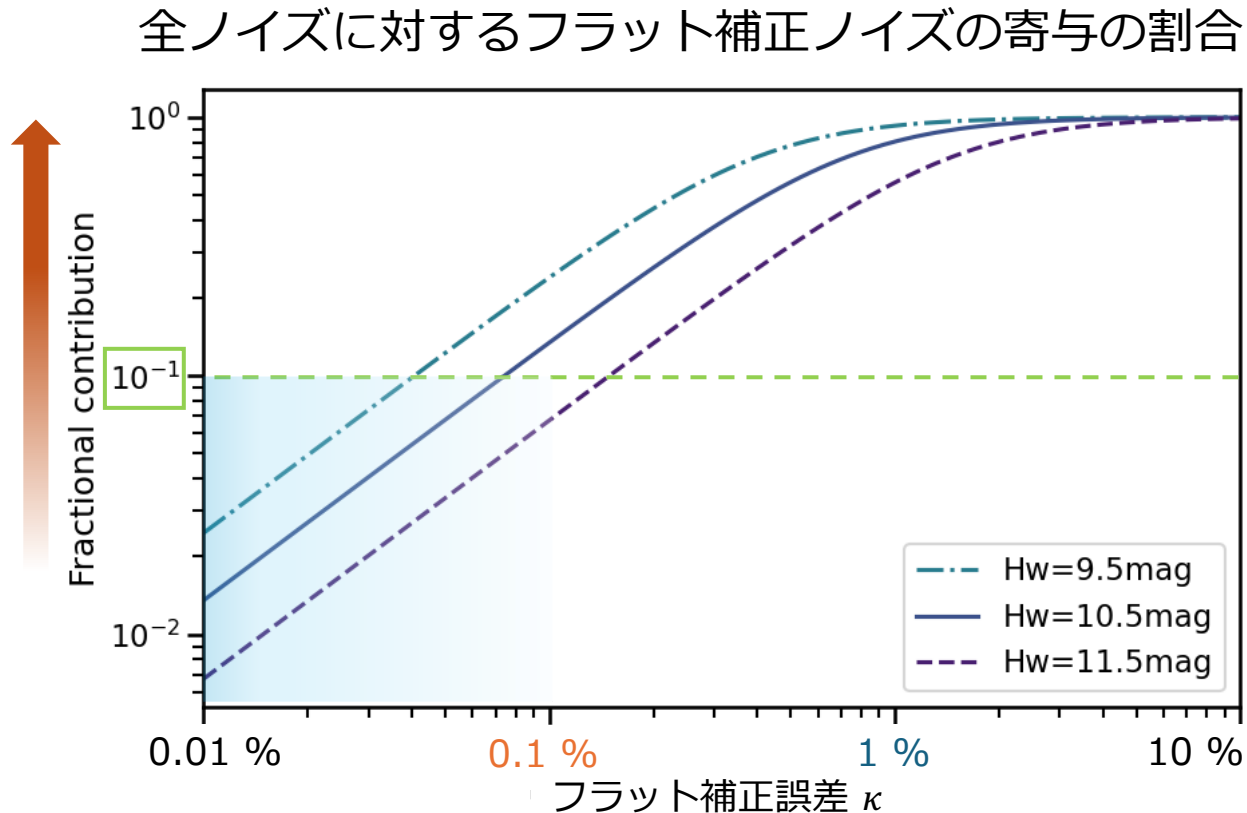
# ライトカーブの安定性の等級依存性



- **フラット補正精度 0.1%** を達成できれば、どの等級のターゲットに対してもほぼ光子統計で決まる精度で測光観測ができる

# フラット補正誤差に対する要求

フラット補正ノイズ  
で精度が決まる



- 例えば、  
フラット補正ノイズの寄与が 0.1,  
ランダムノイズの寄与が 0.9
- 同じピクセルで 100回測定する場合、  
ランダムノイズは 1/10 になるが、  
フラット補正ノイズは 0.1  
→ 結局フラット補正ノイズで  
リミットされてしまう
- フラット補正ノイズの寄与を  
0.1 以下にするには、  
**0.1 % 以上のレベルでフラット補正  
をする必要がある**

# まとめ

- JASMINE での精密測光観測では、フラット補正が重要
- 望遠鏡の指向方向の不安定性によって 観測期間中に星像が検出器面上を移動する場合、どのレベルまでピクセル間感度ムラを補正する必要があるか？
- ドリフト速度が 30 pix/50 min 以上で、短期間に多くのピクセル上を星像が移動する場合
  - フラット補正誤差 1% → 測光安定性は 0.3% 以上に悪化
  - フラット補正誤差 0.5%以下 → 測光安定性への影響はほとんどない
- ドリフト速度が小さい場合
  - フラット補正誤差 1% でも測光安定性にはあまり影響しない
- 測光精度の近似式からは、フラット補正誤差 0.1% 以上の場合、全体のノイズに対するフラット補正由来のノイズの寄与が 0.1 以上になってしまうと予測  
→ フラット補正誤差 0.1% の達成が必要
- → 検出器試験で実際のフラット精度の確認、補正手法の開発に繋げる