

# 小型JASMINEの データ解析S/Wの開発

山田 良透(京都大学理学部物理第二教室)

片坐 宏一(ISAS/JAXA)

辰巳 大輔(国立天文台/自然科学研究拮抗)

河原 創(東京大学地球惑星システム科学講座)

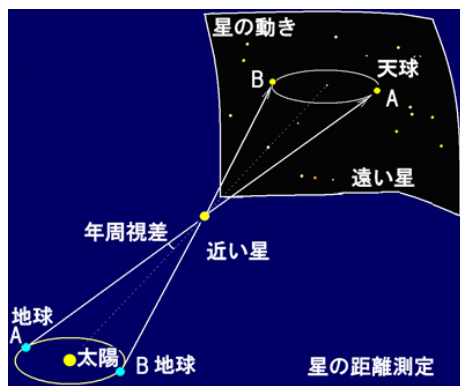
# 小型JASMINEは何を観測するのか？～位置天文観測～

## ★位置天文観測とは

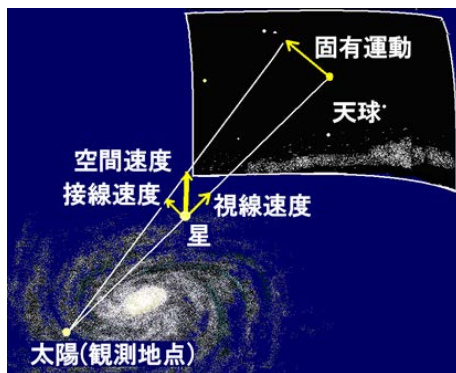
\* 星の撮像観測を行い、その観測で得た天体の天球面上での位置の時間変動(時系列データ)とそこから導かれる年周視差と固有運動等の位置天文パラメータを供出する。

\* 年周楕円運動 + 固有運動(直線運動) = らせん運動 → らせん運動

星までの距離



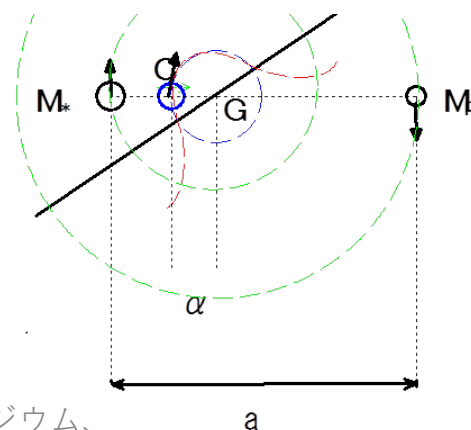
星の接線速度

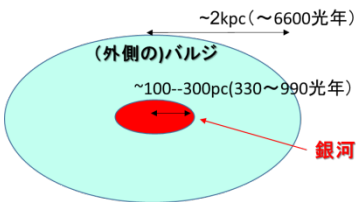


\* 星によって、らせん運動からの“ずれ”がある

➡ 惑星系、連星系、  
重力レンズ効果など

➡ これらの天体の物理情報  
が得られる





# 小型JASMINEの科学目標

— 中心核バルジで、小型JASMINEが世界で初めて解明する研究課題 —

目標(2):  
巨大BHの進化と銀河系中心の活動の解明につながる中心核で回転する非軸対称重力場の解明

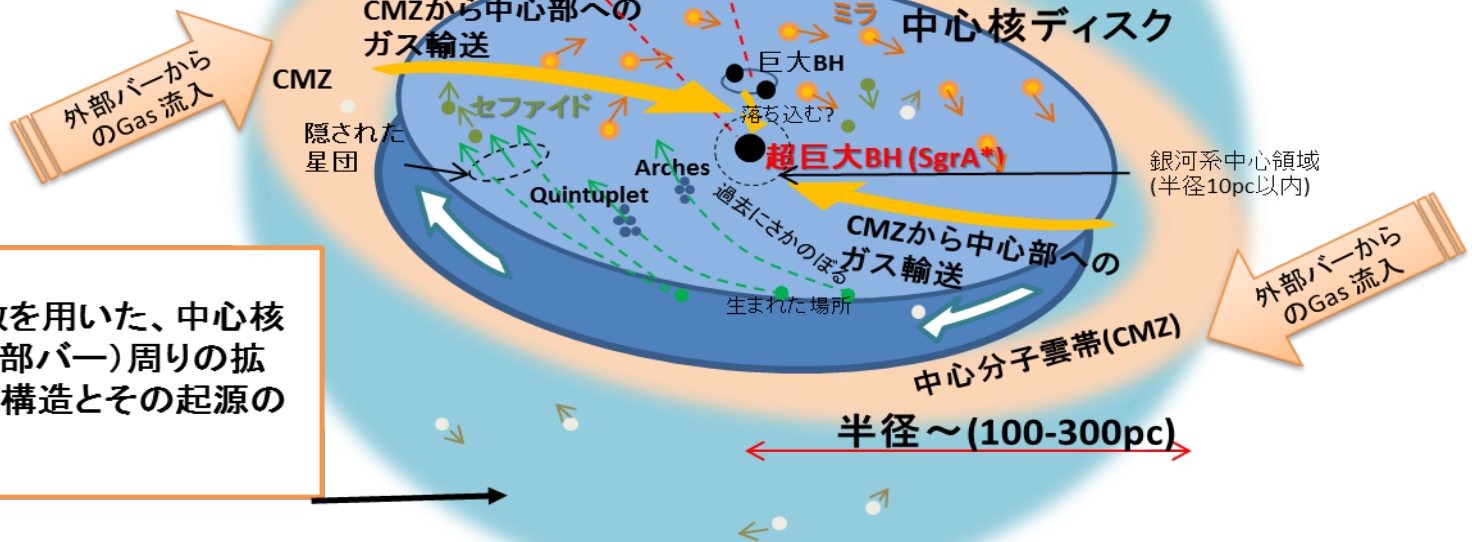
目標(1): バー・バルジ構造の解明につながる中心核バルジ内のディスク構造の解明

## 中心核バルジ

超高速星?

(> ~700km/s)

巨大BHによる重力散乱?



目標(3):  
星の位相分布関数を用いた、中心核ディスク(または内部バー)周りの広がった空間の力学構造とその起源の解明

\*\*\* 銀河系中心核バルジでの星と星団形成、物理的特徴や多様な天体の探求 \*\*\*

隠された星団の同定

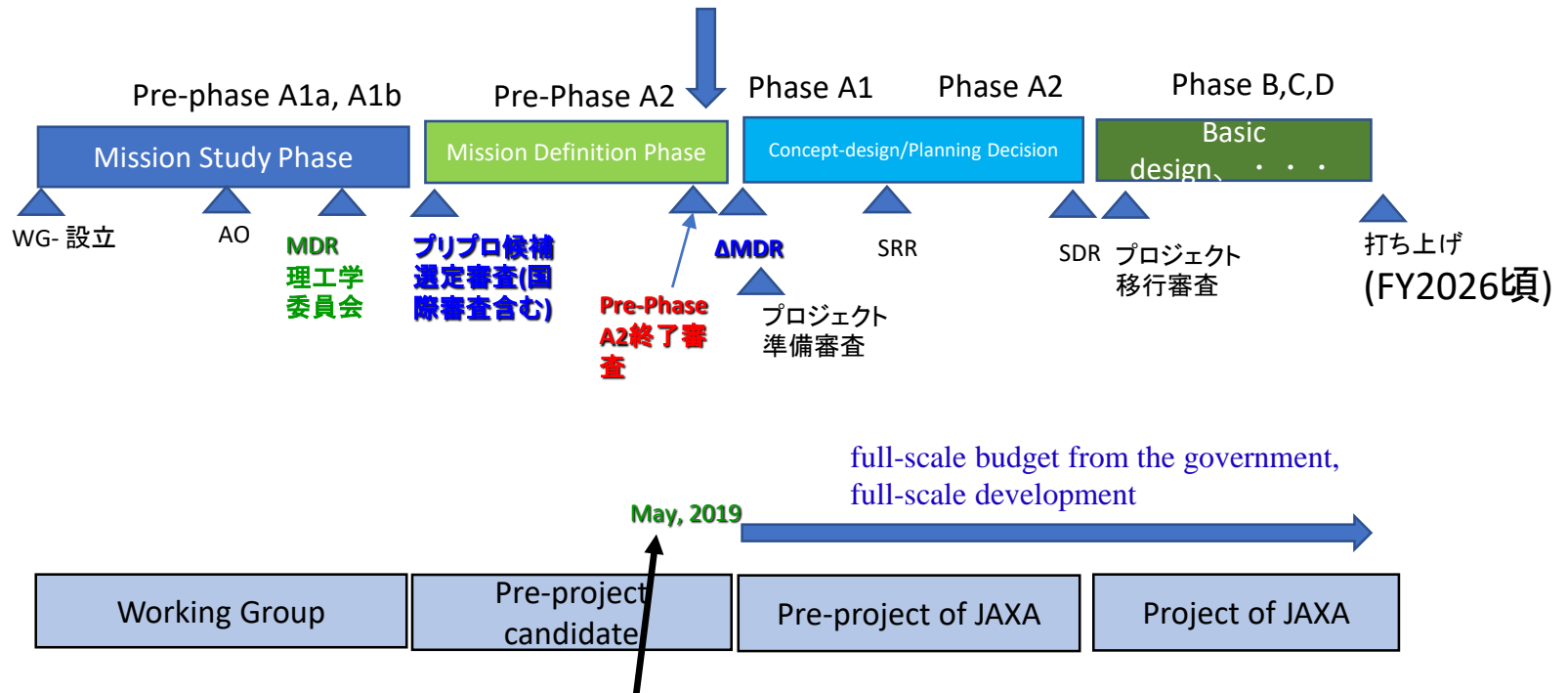
星の位置運動情報から星団の誕生した領域を探る。

超高速星はどうしてあるのか?

多様な天体の探求:  
重力レンズ天体、コンパクト天体等

# ★ Present status of Small-JASMINE

～Multiple steps of reviews by JAXA～



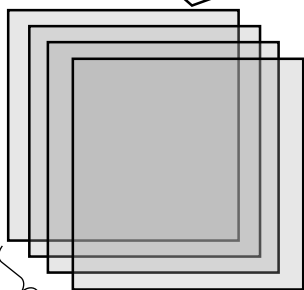
Small-JASME は、Pre-Phase A2終了確認会を、2019年5月10日にパスし(いくつかの宿題を残して)、公募型小型計画3号機の唯一の候補となった。

ISAS/JAXAは、Small-JASMINEを公募型小型3号機に選定した。

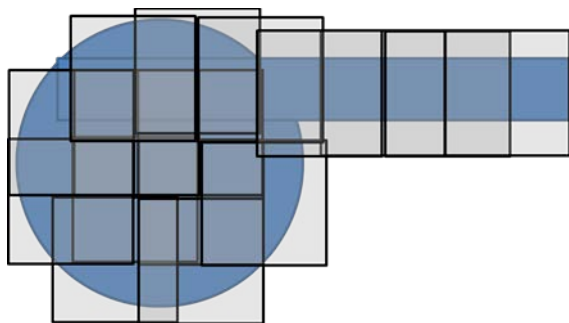
# 観測手法とデータ解析

単位フレーム(7.1 秒間撮像した視野サイズ of 画像):

(A) 星像中心位置の推定



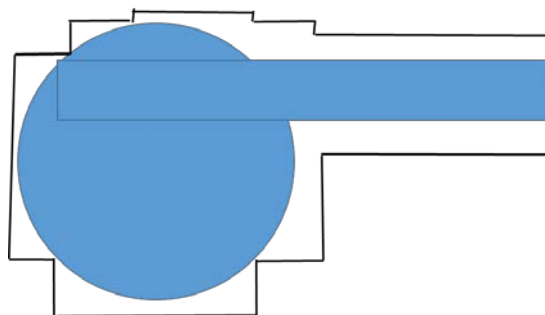
(ほぼ同一視野の) 単位フレーム約20枚  
=小フレーム



小フレーム(視野サイズ)

(B):16枚の小フレーム⇒大フレーム  
(地球半周回の約50分間)

画像歪み補正



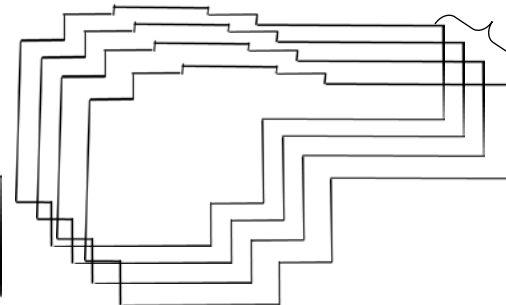
大フレーム

(銀河系中心方向の観測領域全域)

約3年間の運用期間  
(1年のうち、春と秋の約半年観測)

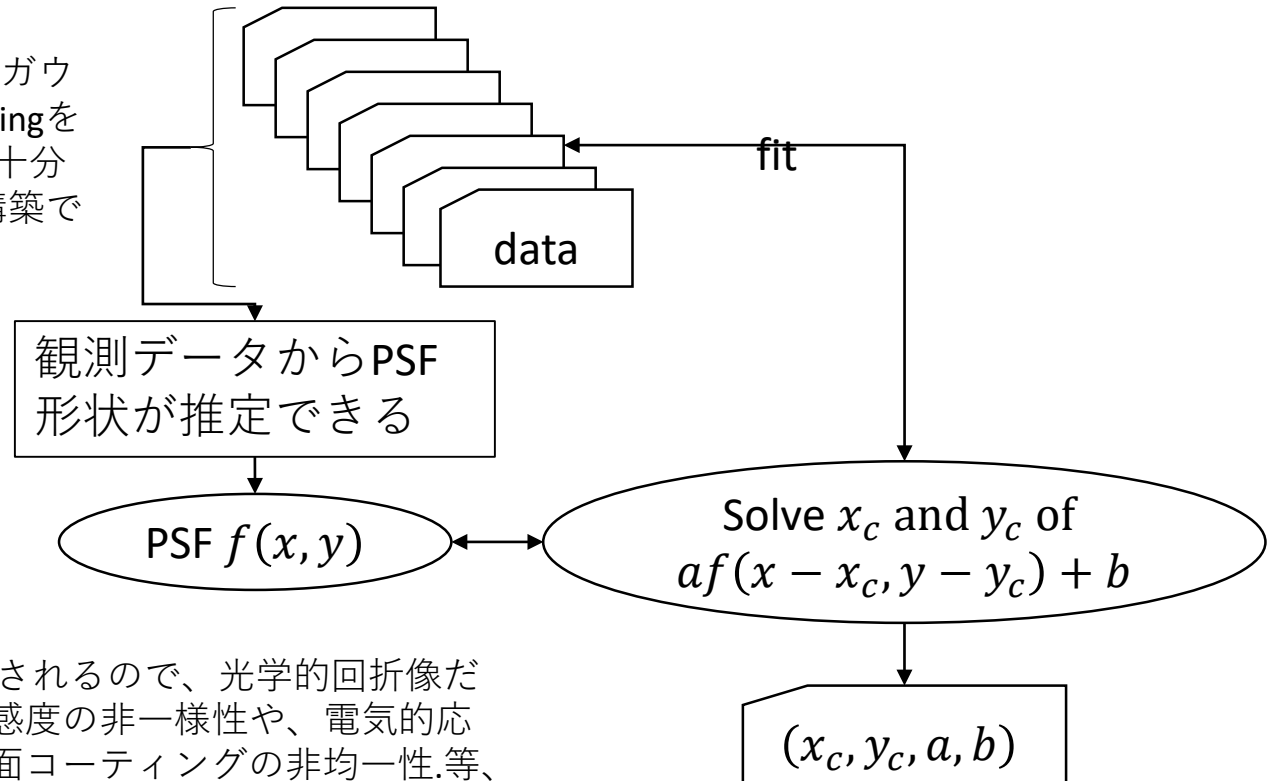


大フレーム約8000枚



# 観測手法とデータ解析A

PSFモデルのInitial guessとしてはガウス関数等を用いる。データのfittingを再帰的に行い、中心推定誤差が十分小さくなるようなPSFモデルが構築できる。



モデルPSFはempiricalに計算されるので、光学的回折像だけでなく、ピクセル内での感度の非一様性や、電気的応答、検出器やフィルタの表面コーティングの非均一性等、すべての効果が含まれている。これを“**effective PSF**”,あるいは単に“**ePSF**”.と呼ぶ。PSF形状を変化させる個別の物理要因を知る必要は無い。

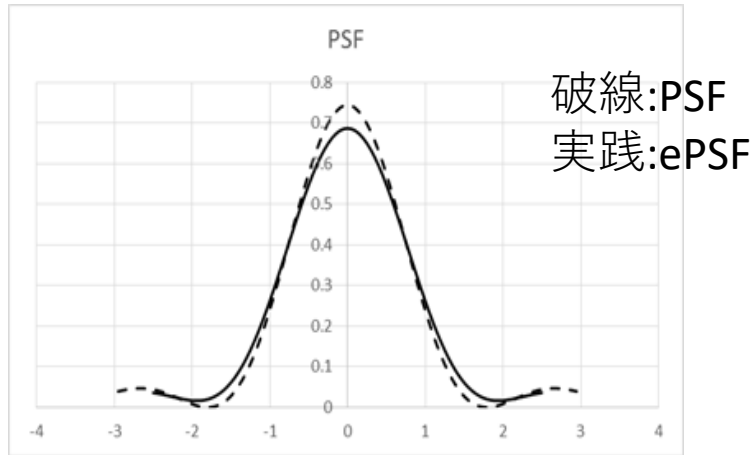
以下の4つの量を各星像から推定

- $x_c$  and  $y_c$  : **PSF fitted centre**
- $a$ : amplitude
- $b$ : background

# 星像中心位置の推定

## effective PSF(ePSF)

HSTチームが用いた手法：ePSFの利用  
ePSF(effective PSF)の定義



$$a_i(\lambda) = (p \otimes \psi)(x, y, \lambda)$$

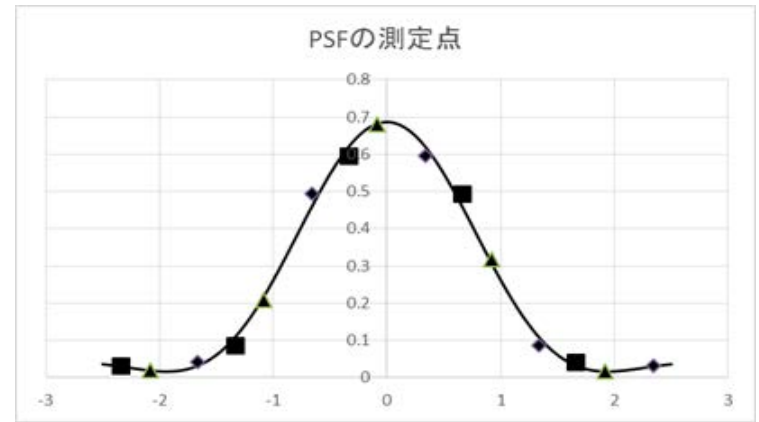
$$ePSF(x, y) = \int (p \otimes \psi)(x, y, \lambda) d\lambda$$

$\psi$ : 光学装置で決まるPSF

$p$ : pixel response function

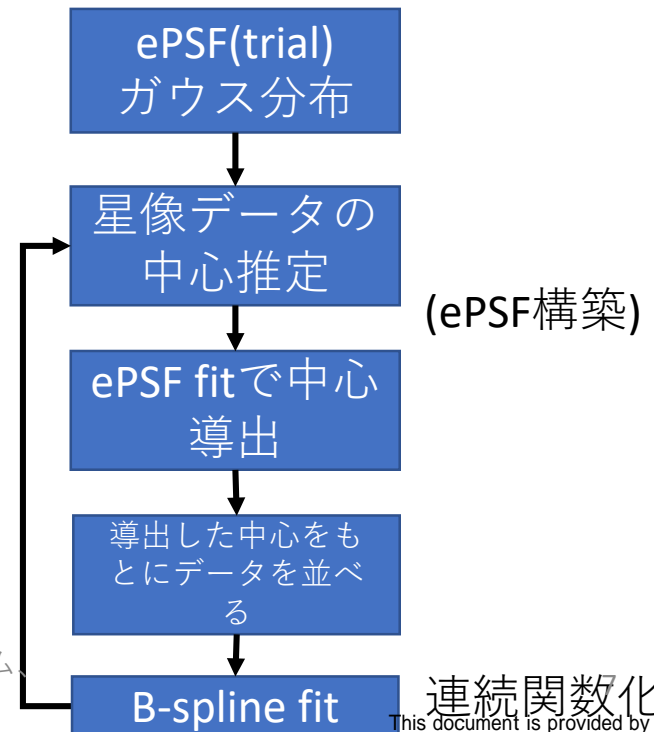
\* ピクセル内の感度むらや

photon diffusionなどを反映

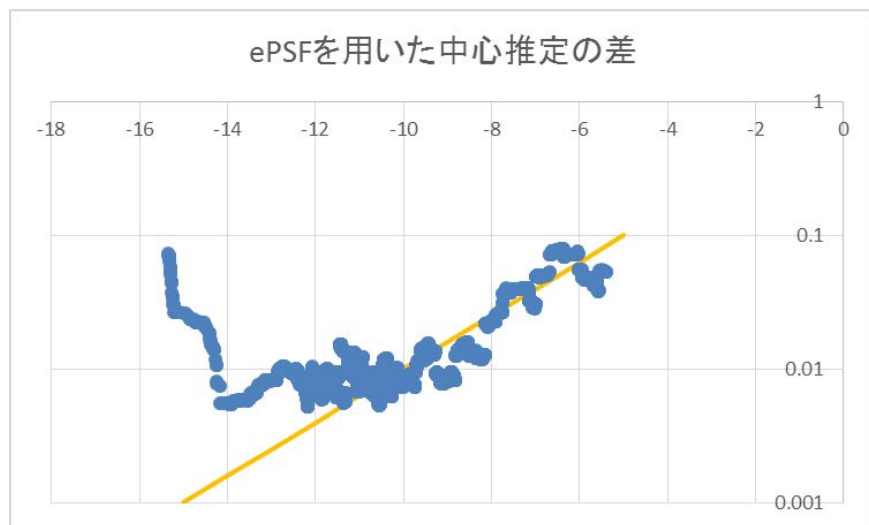


ePSFの構築手順：

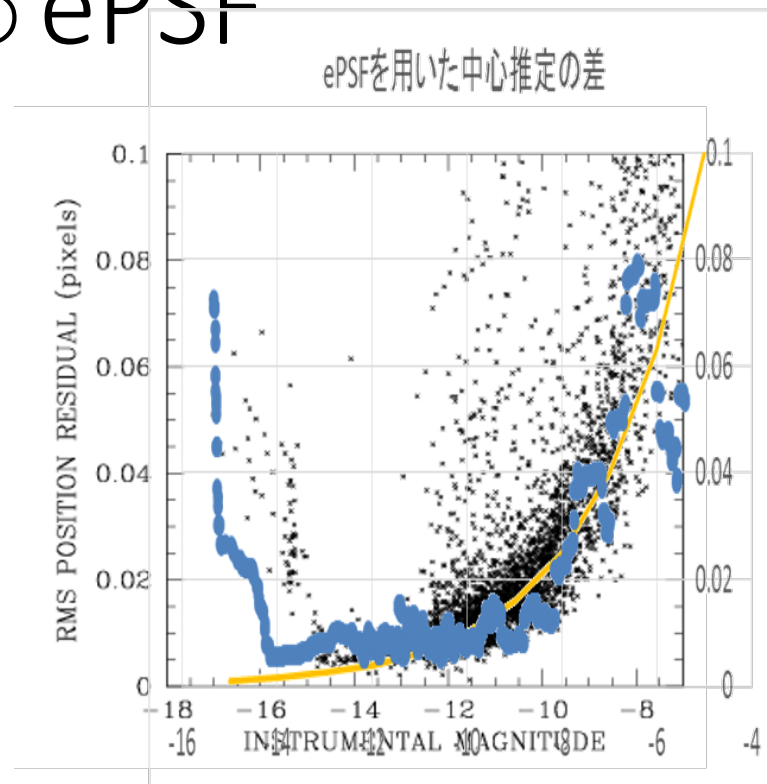
中心位置が異なる様々な星像の各ピクセルでのphoton数～ePSFの各点での近似値



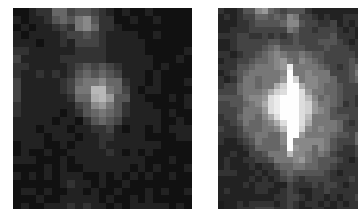
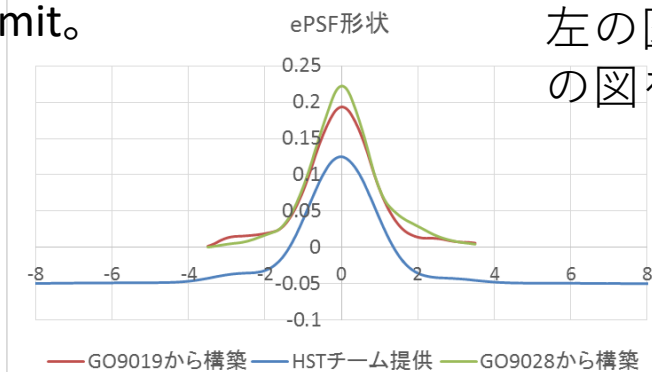
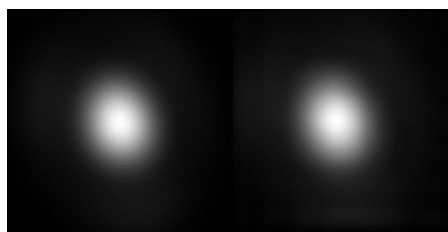
# HSTデータによるePSF



中心推定の差(HSTチーム提供のePSFとJASMINEでHSTデータから作成のePSF)  
 橙線は光子ノイズlimit。



左の図(linear表示)とHSTチームの論文の図を重ねたもの。



-9等

-12等

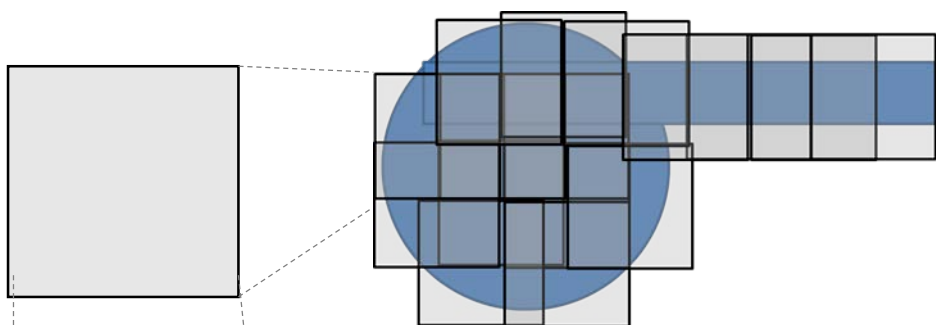
ePSF形状(左HST、中JASMINE、右比較)

宇宙科学情報解析シンポジウム、  
 2020/02/14



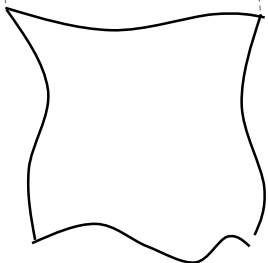
# 観測手法とデータ解析B

小フレーム(単位フレーム20枚)16枚を併せて大フレームを作る過程を、**frame link**.と呼ぶことにする。ここでは、二つの収差を扱う必要がある。(large scale, variable) “**optical distortion**” と (small-scale, constant) “**image distortion**”.



大フレームでは、自由パラメータはフレーム全体のスケール、位置、向きだけである。

変形は、単位/小フレームで覗かれている。絶対的なスケール、位置、向きは解かれていない。



撮像データは、光学および検出器由来の歪みを持つ。

衛星は完全に安定ではないので、**step B**において小さな**dithering**が自然に起こる。**Dithering**を**active**に行う必要があるかどうかは、“**Mission Design Phase**”で検討する。

# 画像歪推定

光学歪みのモデル化：プレートモデル(双多項式)

$$x(t) = \xi_0(t) + a_{10}(t)\xi + a_{01}(t)\eta + a_{20}(t)\xi^2 + a_{11}(t)\xi\eta + a_{02}(t)\eta^2 + \dots$$

$$y(t) = \eta_0(t) + b_{10}(t)\xi + b_{01}(t)\eta + b_{20}(t)\xi^2 + b_{11}(t)\xi\eta + b_{02}(t)\eta^2 + \dots$$

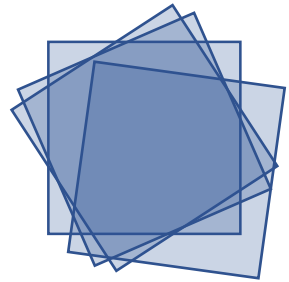
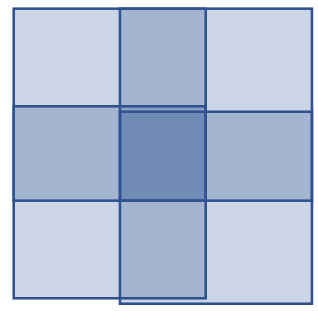
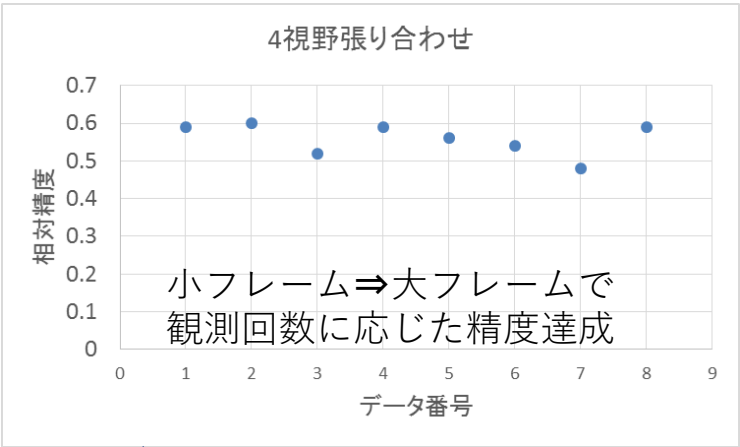
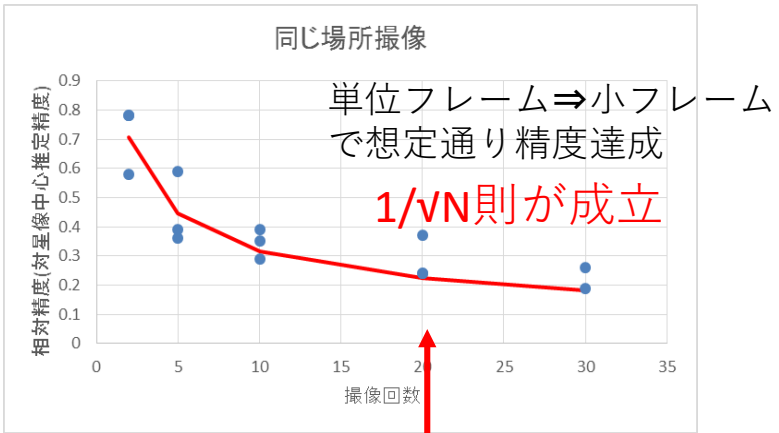
プレートモデルの係数は、すべての小フレームで共通



装置の熱変動安定性  
(小型JASMINEで想定)

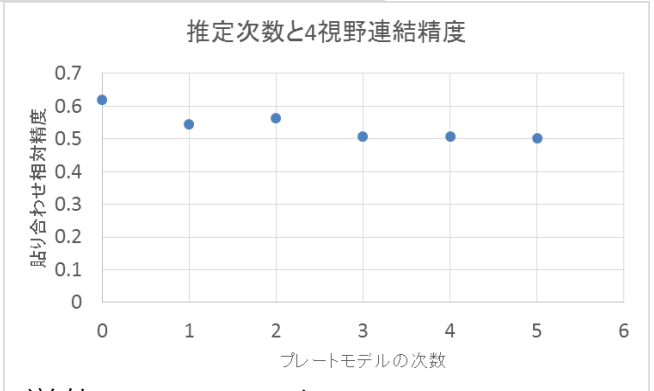
最大4視野の連結

星の数：10個～30個



小型JASMINE

星の数などの  
入力した  
パラメータ値が  
異なっても  
(データ番号の  
違い) ほぼ同じ  
精度



# 開発方針

- 衛星のためのソフトウェア開発=長期の開発
- 人が変わっても、プラットフォームが変わっても、生きる開発とは？
- ⇒Open source 品質を目指す。
- メーカー委託と研究者コミュニティの立ち上げ

# 開発status

- 言語1: Python
- 言語2: 英語
- 共有: GitLab
- 計算リソース: 通常のPCとGPGPU計算機
  - Python ライブラリの切り替えで対応可能なこと
- 半年 × 約10サイクルの開発ゴールの設定作業中

# 開発status

- End to endの計算をするためのコードを、ソフトウェア会社へ発注している。
  - 「モデリング」分野の専門家に、アドバイスをお願いしている。
  - 将来はモデル駆動や深層学習も取り入れる
  - 物理学や情報科学分野で修士や博士を取得している社員が複数いるようなメーカーで、対応可能。
- ISO/IEC/IEEE 12207:2017、ISO/IEC/IEEE 15288:2015を参考とする
  - システムライフサイクルプロセス、ソフトウェアライフサイクルプロセス
  - 仕様書の書き方等

