

JASMINEのデータ解析

京都大学大学院理学研究科

山田 良透

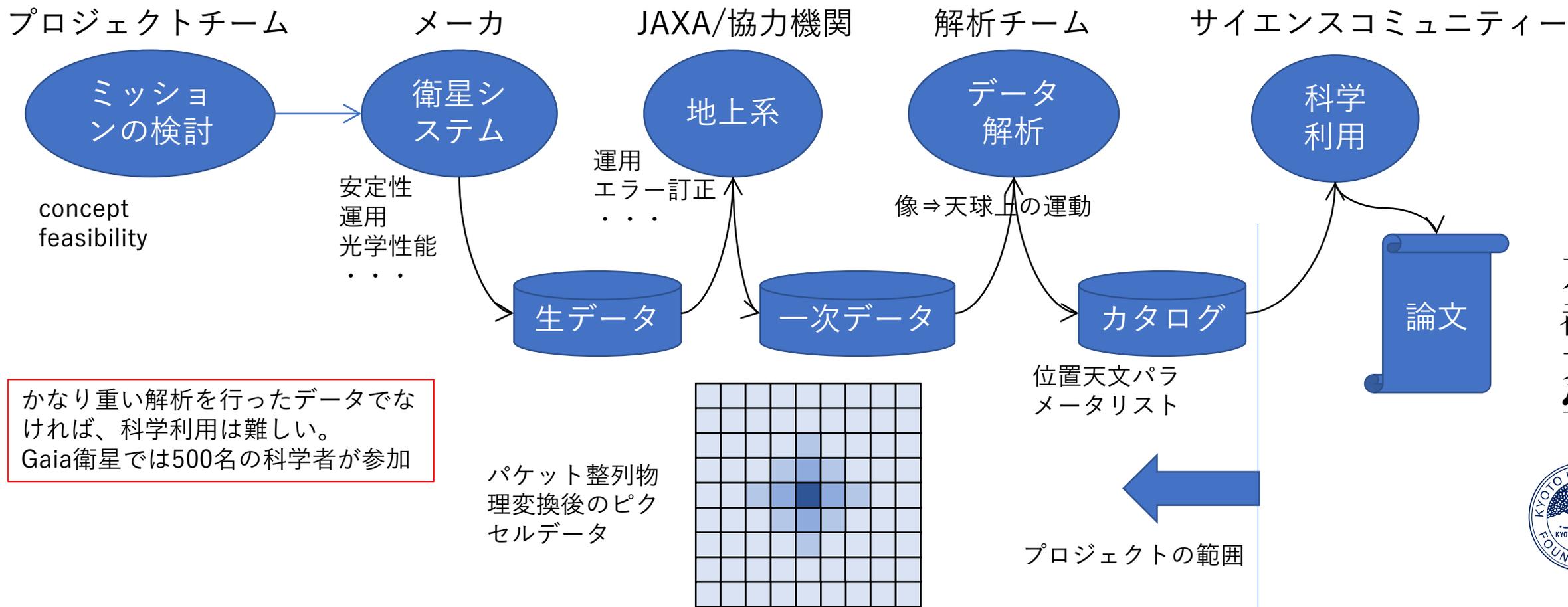
JASMINE E2Eチーム



京都大学



ミッションの中での解析の位置づけ



かなり重い解析を行ったデータでなければ、科学利用は難しい。
Gaia衛星では500名の科学者が参加

京都大学

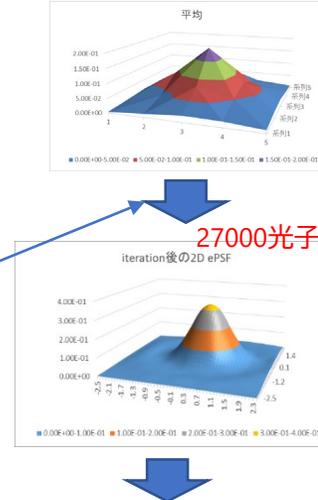


JASMINEデータ解析の概要

I: 星像中心推定

PSF形状をデータから推定し、Bayes Splineを用いてePSFを構築する
構築したePSFにfitし、星像の中心を推定

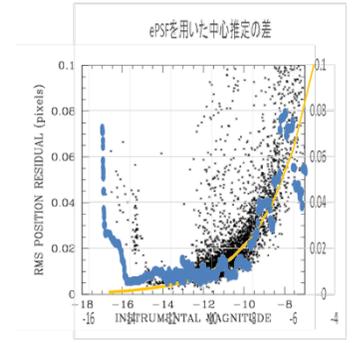
光学特性とその変動、7秒以下の姿勢擾乱、検出器特性、ePSF構築アルゴリズムが精度に影響する。



27000光子/星像

500mas (回折幅)

星像中に $N_{ph}=2.7$ 万個の光子がある。HSTで確立した手法を試し、結果を再現した。星像中心推定精度は回折幅の $1/\sqrt{N_{ph}}$ に低減、systematic誤差は $1/300$ pixel以下。



(付録 PSF推定)

II: フレーム歪みの補正

同じ星は動かないことを使って、5次多項式で表現した歪み、ピクセルごとのサイズ不均一、星位置を同時にを解く

光学系性能、光行差、望遠鏡熱変動、検出器の製造由来誤差、フィルタのひずみ、照合する星の数や明るさが精度に影響する。

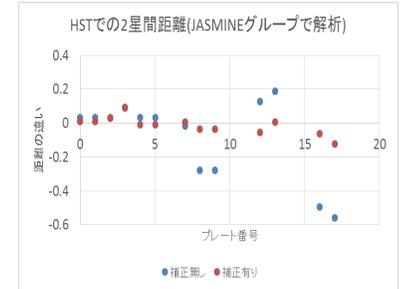
測定座標(ひずんでいる)

歪みをとった座標

天球上

4mas

歪みを双多項式で表現、システム安定性を同時に要求することで、所定精度を得られることをシミュレーションとHST実データで確認した。



(付録 フレーム連結)

システム安定性は、温度制御と低膨張素材の開発で実現可能である見通しをつけている。(次ページ)

III: 位置天文パラメータ推定

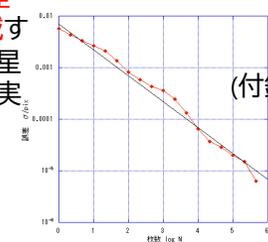
Step IIで解けない絶対位置とスケールはGaia星を頼りに、多項式、フーリエ級数、Bayes Spline回帰を用いて推定

参照するGaia星の明るさと数、近接する星のPSFのテール、拡散天体が精度に影響する。

1mas

星の運動則が精度良く決まっていることから、self calibrationができる。

100万撮像で誤差が $1/\sqrt{N}$ 則で低減することを、模擬星像を使った地上実験で確認。



(付録 誤差低減実験)

8000 scan/ミッション
25 μ s

特徴

10万星
数万観測/星
25 μ 秒角

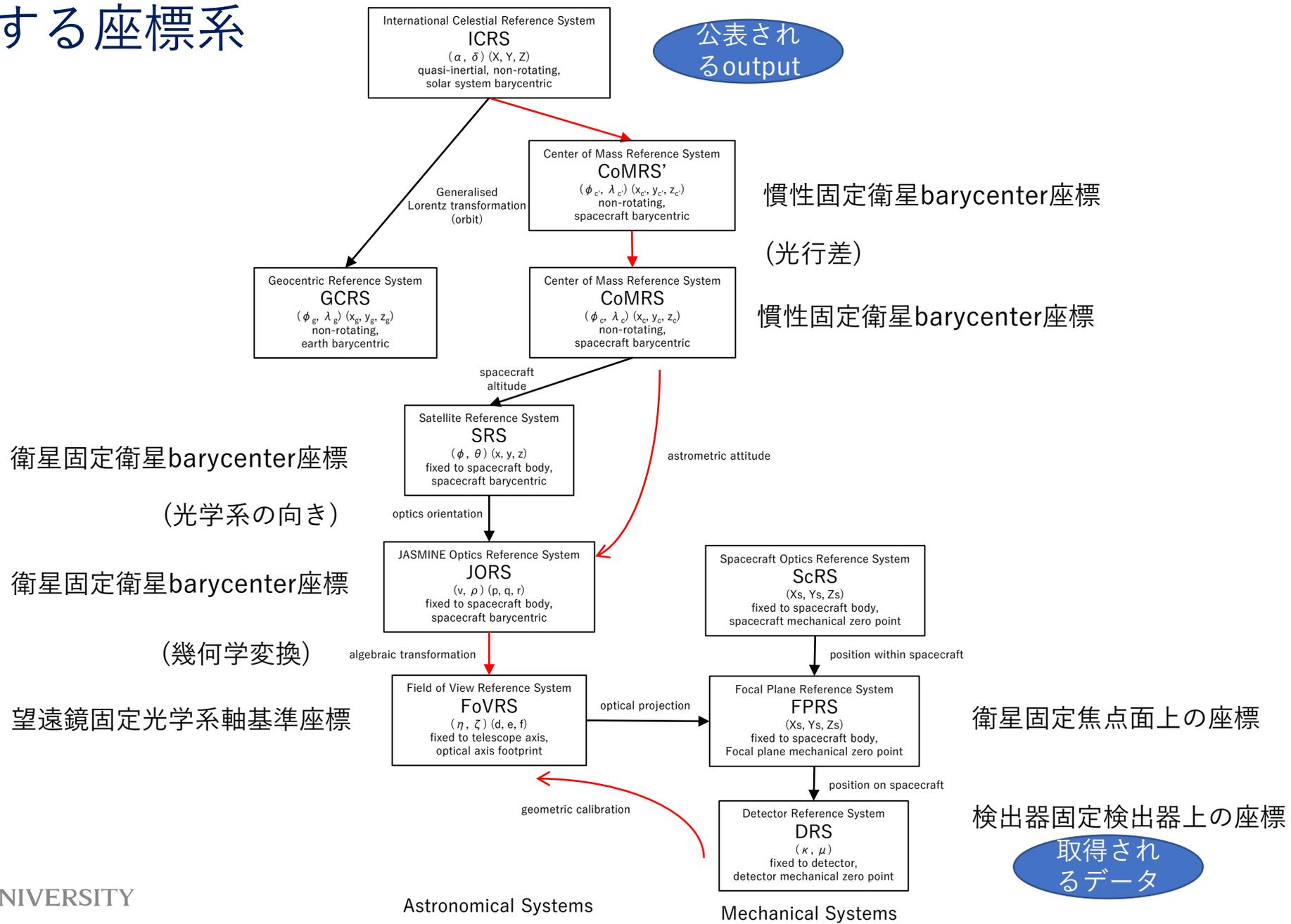
Gaiaとの違い

観測方式

- Gaiaはscan衛星
- JASMINEはstep stair観測装置・波長
- CMOSはCCDよりnoisy混雑領域



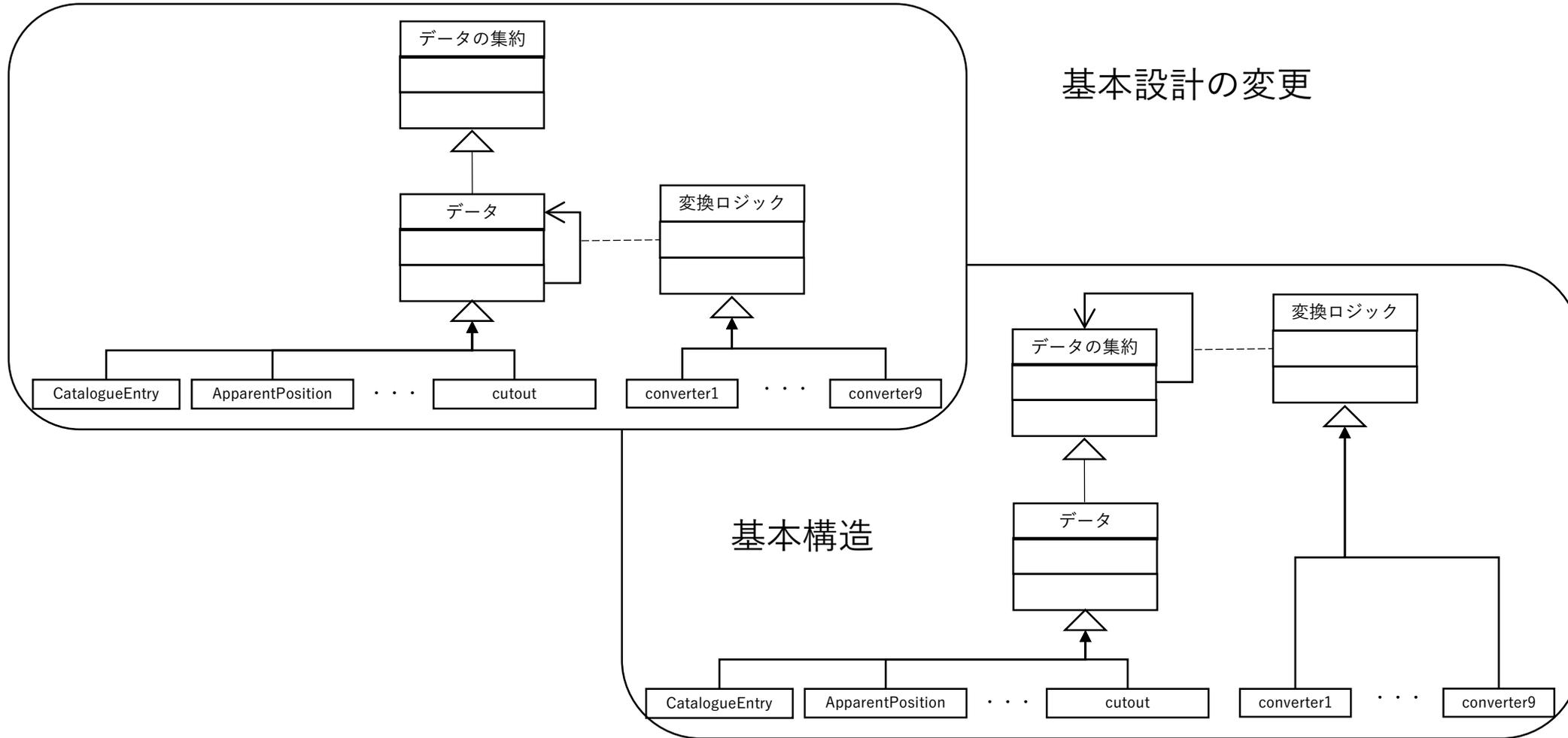
関連する座標系



開発の前提条件

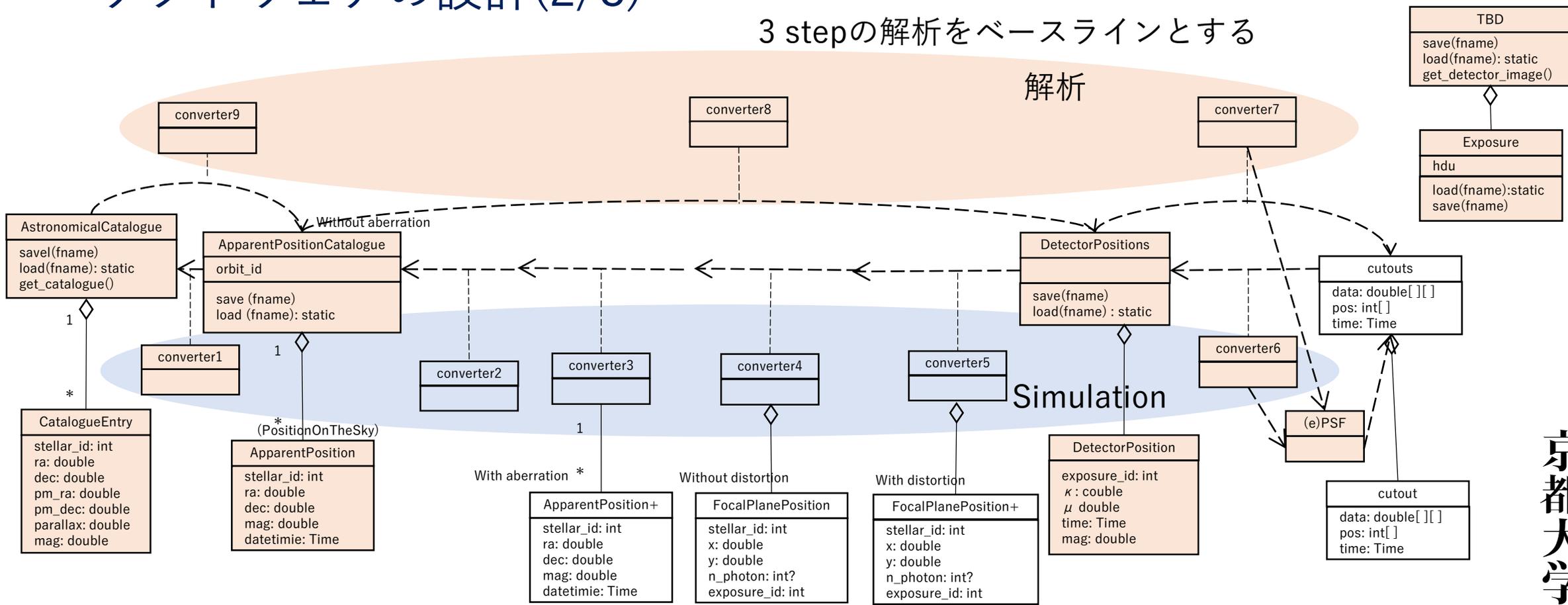
- 開発言語: Python
- 開発方式: テスト駆動型
- コード共有: GitHub

ソフトウェアの設計(1/3)



ソフトウェアの設計(2/3)

3 stepの解析をベースラインとする



ICRS

CoMRS'

CoMRS

FoVRS

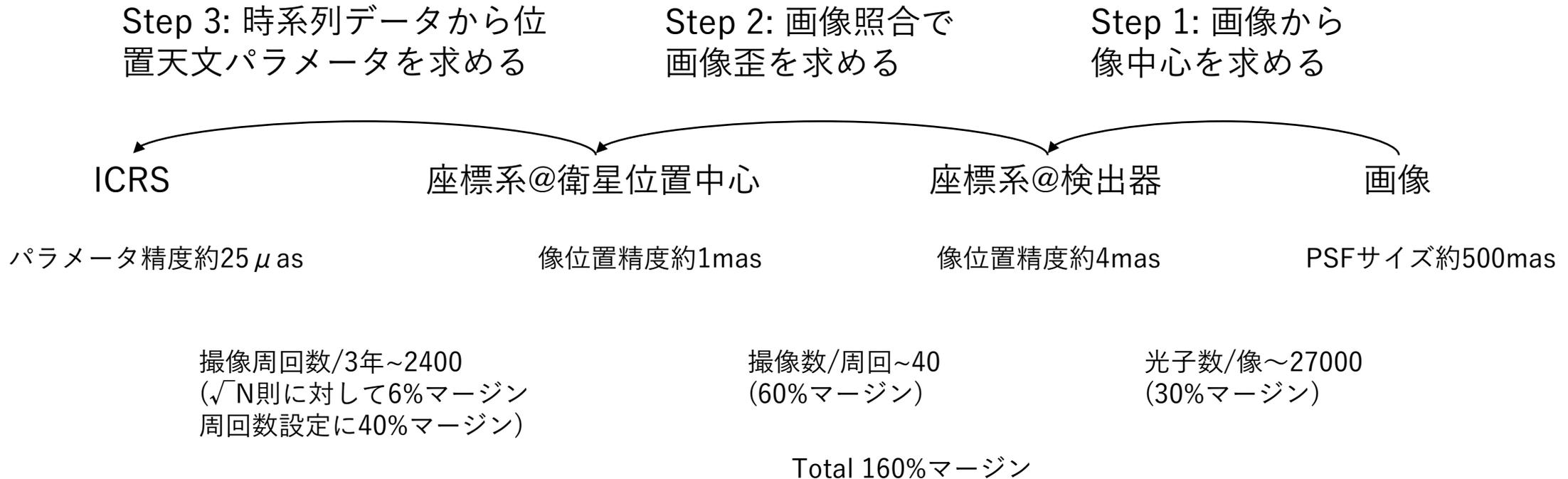
FPRS

DRS

京都大学



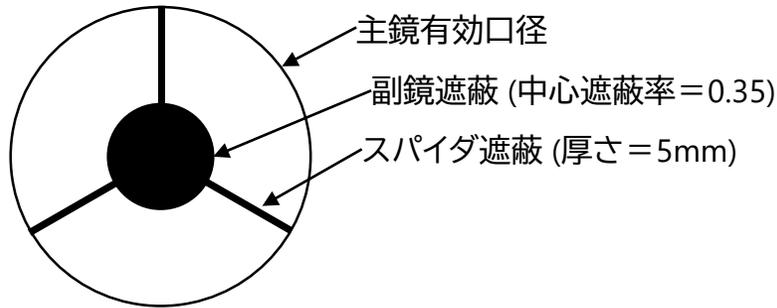
ソフトウェアの設計(3/3)



Step 1 (中心推定)

主鏡有効口径・開口形状(アパーチャ)

- PSF(Point Spread Function)を決めるパラメータとして導入。
- 主鏡有効口径は340-360mmを設定した。



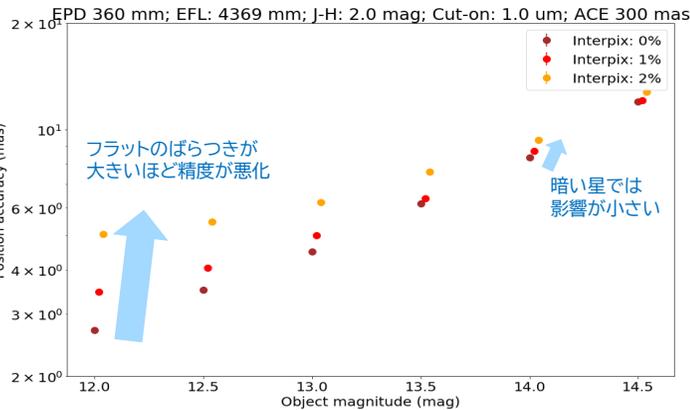
像からEffective PSFを構築し、これとfitして中心を求める。
約400個程度の星があればeffective PSFは必要精度を達成。
(1000個/撮像程度の12.5等より明るい星が期待される)

開口形状、撮像中の指向擾乱とドリフト、ミスアラインメント、望遠鏡設計性能+製造誤差、検出器の仕様(dark, read out, pixel間flat非一様性)、星像windowサイズ、感度の波長依存性、銀河中心の背景光の影響などを考慮しても、中心推定精度4~6masを達成できる。

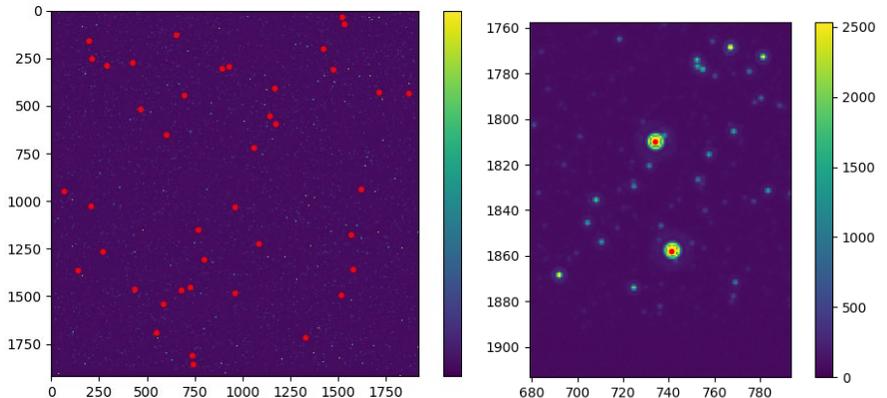
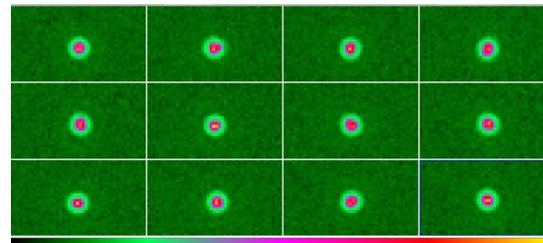
課題:

ノイズソースを落としていないか？

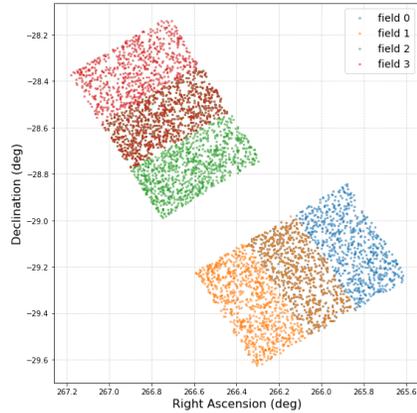
ノイズの分布則や大きさをより現実的なものにする。



ピクセル間フラットの影響を星の明るさ(等級)と位置決定精度の関係で見たもの。⇒LED光源で補正

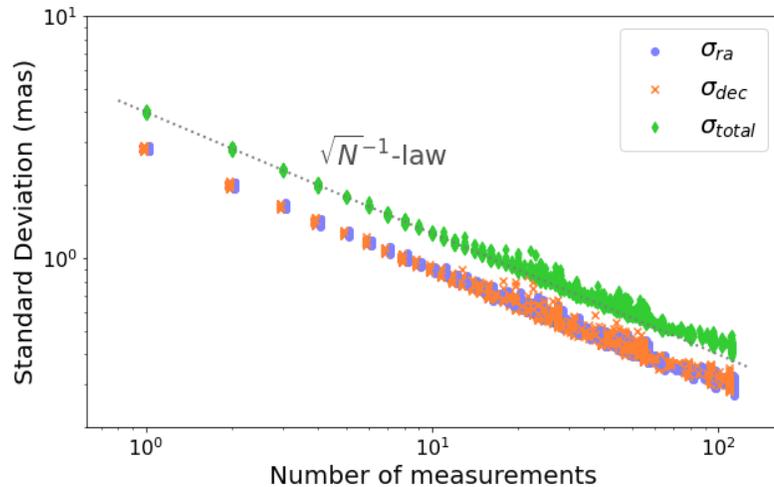


Step 2 (歪推定)



視野の張り合わせ方の評価

天体の測定回数と位置測定精度の関係



KYOTO UNIVERSITY

半周回中(約50分)で、装置は指向方向と伸縮以外の高次歪の成分は $10 \mu\text{as}$ 以下で安定していることを要求する。

重なる視野に写る同じ星同士の相対距離が同じである(高速度星除く)という拘束条件から、星の相対位置を推定する。
Gaiaで位置が分かっている星を頼りに、相対位置を絶対位置に変換する。

100個程度の重複星があれば、ほぼ撮像回数に対して \sqrt{N} で星の位置が推定できる。

課題:

高速度星、移動天体を適切に除外できるか？

歪みのモデル化は正しいか？

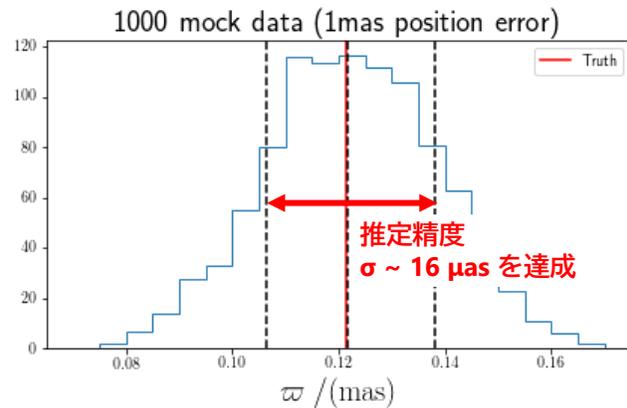
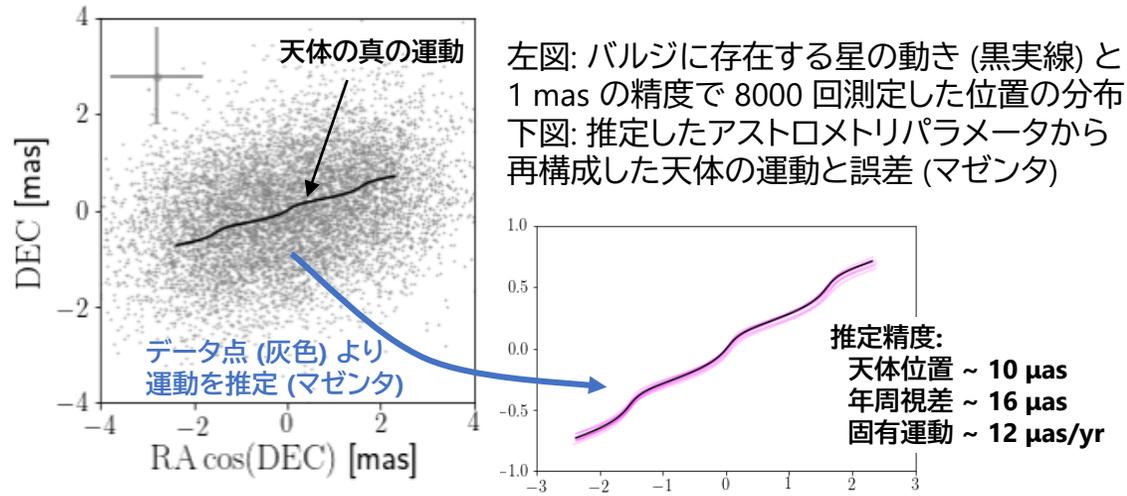
安定性要求を緩められないか？

Gaia天体は何個あれば良いか？

京都大学



Step 3 (運動推定)



上図: 1000 回の試験で得られた年周視差の分布

Step 2 で求められた天球上の星の位置の時系列データから、位置天文パラメータ ($\alpha_0, \delta_0, \mu_\alpha, \mu_\delta, \pi$) を求める。Gaia 星の数と精度、銀河中心背景光、黄道光などの栄養を取り入れて評価した。

課題:

装置 (検出器・望遠鏡) の経年劣化

年周期擾乱に何があるのか?

手前の明るい星の運動との分離が適切にできるか?

装置の down time はどの程度か?

月等の回避運用で観測計画がどう影響を受けるか

より具体的な観測計画で parallax factor を評価

総点検サマリーと今後の進め方

総点検のサマリ

4~6masの星像中心推定精度達成は、現在考えられるノイズ要因を取り入れて、口径36cm以上であれば達成可能な見込みがたった。

歪推定、位置天文パラメータ推定は、ほぼ \sqrt{N} 則での誤差低減が見込まれる。

観測時間を2%犠牲にするとフード長が短くでき、衛星システムへの負荷を減らすことができる。

体制

2020年夏から約20名の体制で毎週会合。

2022年4月からHeidelberg大学でDLRの資金を獲得して開発チームを編成。

国立天文台ADCとの協力体制も議論を開始した。

今後の課題

各ステップの出力のノイズをモデル化する(ノイズモデルの構築)

これを後段の入力に用いることで、後段のsystematicノイズの入り方をより現実的に模擬する。

パイプラインを実装して、少ない星の数、少ない視野の数での実行結果から、必要な計算リソースを外挿する。