

小型 JASMINE の解析 ソフトウェアの構築

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg),
郷田 直輝 (国立天文台), 矢野 太平 (国立天文台), 辰巳大
輔 (国立天文台), 片坐 宏一 (宇宙科学研究所), 吉岡諭
(海洋大)

+ end 2 end simulation group

小型JASMINE実現のキ一要素

- 望遠鏡組み立て調整
 - 検出器サブシステム
 - コスト
-
- 地上データ解析



メンバーリスト(機関順、11機関、23名)

メンバー名	所属
山田 良透	京都大学
河田 大介	University College London
河原 創・上塚 貴史・大澤 亮・福井 暁彦・越本 直季	東京大学
辰巳 大輔・泉浦 秀行・郷田 直輝・三好 真・矢野 太平・津久井崇史	国立天文台
服部 公平	統計数理研究所
立川 崇之	高知工業高等専門学校
吉岡 諭	東京海洋大学
片坐 宏一・臼井 文彦・鈴木大介	JAXA
平野 照幸・大宮 正士	ABC
増田賢人	大阪大学
Löffler Wolfgang	ARI / Univ. Heidelberg

測定・解析の処方箋

A: 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。

B: フレーム歪みの補正

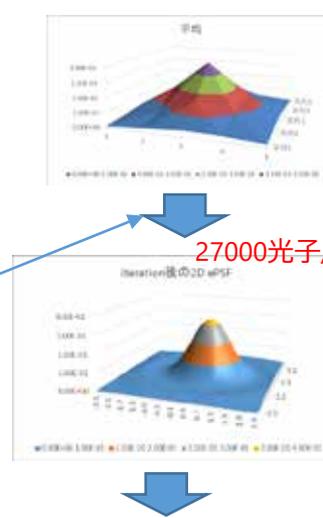
同じ星は動かないことを使って、5次多項式で表現した歪み、ピクセルごとのサイズ不均一、星位置を同時にを解く

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。

C: 位置天文パラメータ推定

Step B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。



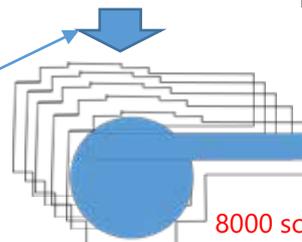
測定座標(ひずんでいる)



歪みをとった座標



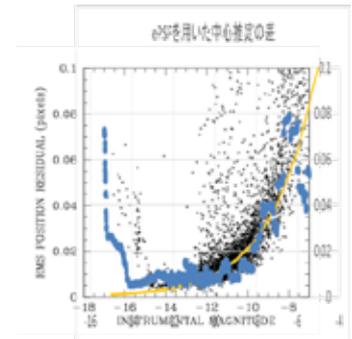
天球上



8000 scan/ミッション
25 μ s

400mas (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)

4mas

歪を双多項式で表現、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)

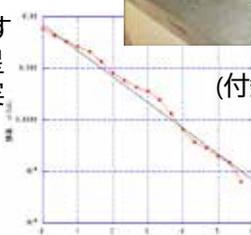
1.5mas

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。

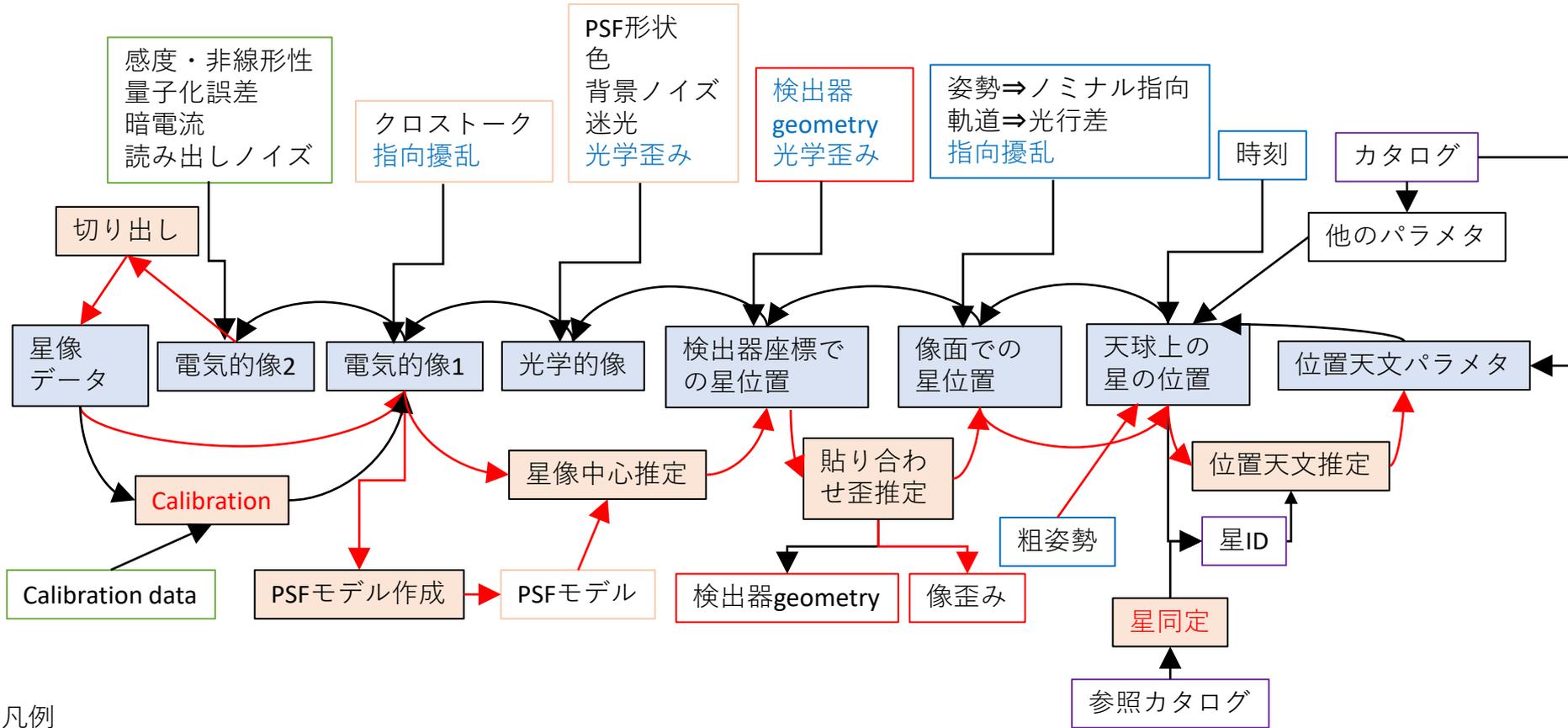


(付録 誤差低減実験)

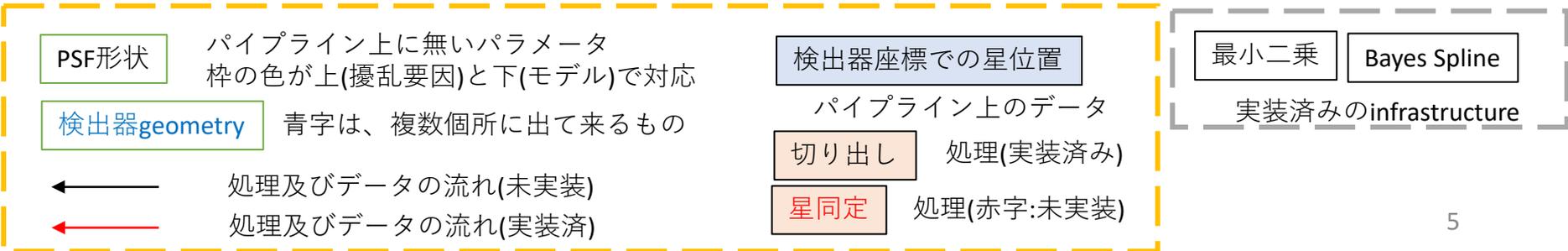


データ解析・End-to-End simulation

物理情報の流れと解析の流れ



凡例



E2E simulation groupの立ち上げ

- UCL河田氏(JASMINEのproject scientist)が声をかけ、20名強のE2Eチームを立ち上げ。
- 9月より毎週会合+GitHubによるコード共有+Slackによる日常的な議論。
- NAOJ, ISAS, 東大, 京大, 東工大, 海洋大, 高知高専, 統数研, 大学院生から教授クラスまで。
- 「解析」と「シミュレーション」の二本立て

「シミュレーション」の活動状況

- 現段階で想定できるノイズ要因はほぼ実装済み
- 系外惑星探査に必要な測光精度を得られるかどうか検証
- 「解析」のinputにできるようなI/Fを実装。

「解析」の活動状況

文書

仕様改訂

プロジェクトによる仕様策定

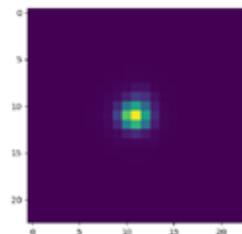
メーカーによる実装

プロジェクトによる検証

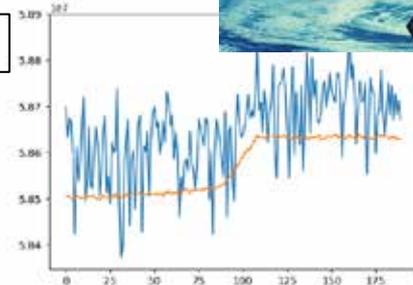
導入するノイズによって、アルゴリズムに改良を要する点を発見した場合

運用計画に反映

セルフキャリブレーションで解けない擾乱モードを発見した場合



測光精度の評価



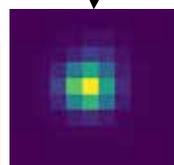
系外惑星探査の成果評価
キャリブレーション方法の検討

衛星の位置、速度⇒星が見える方向
衛星の姿勢⇒像面で結像する位置
画像歪、検出器歪⇒結像位置(pixel単位)
PSF形状、星の色、ノイズ⇒光が作る像の形
検出器特性⇒電氣的に得られる像の形

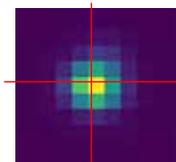
星の運動5
パラメータ



3年のデータを集めて運動を解く。

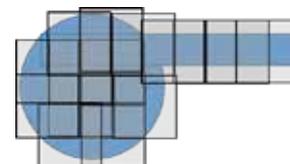


像の中心を推定

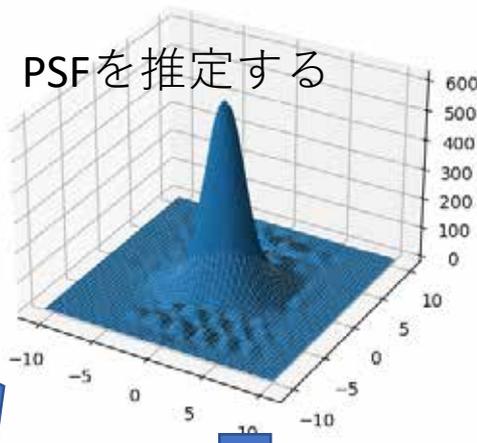
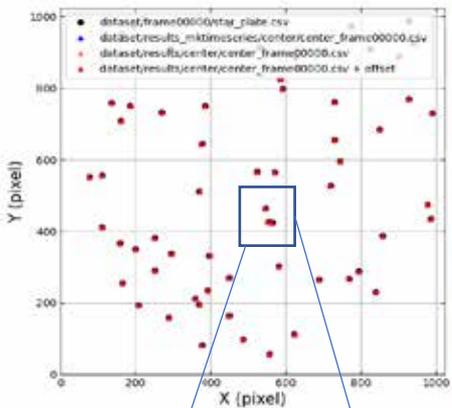


データ解析は問題

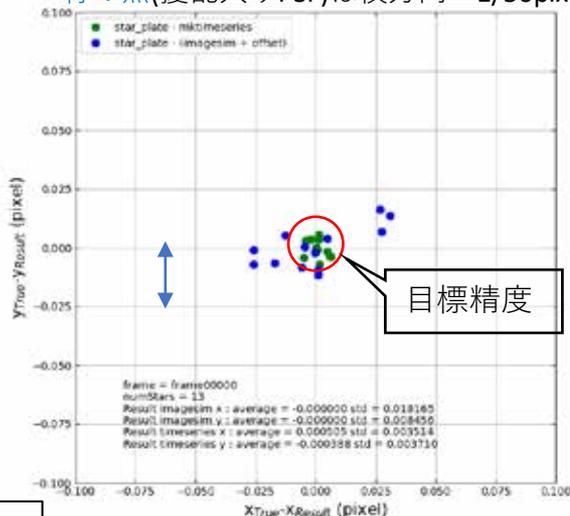
50分の観測からある時刻の星位置を求める。



PSFを推定する



1目盛りは1/40 pixel、
 緑の点(良いPSF)の標準偏差~1/280pixel、
 青の点(擾乱入りPSF)は横方向~1/50pixel

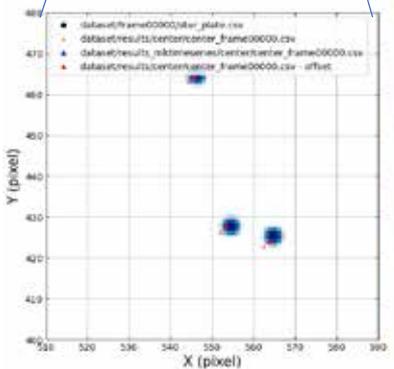


画像の生成

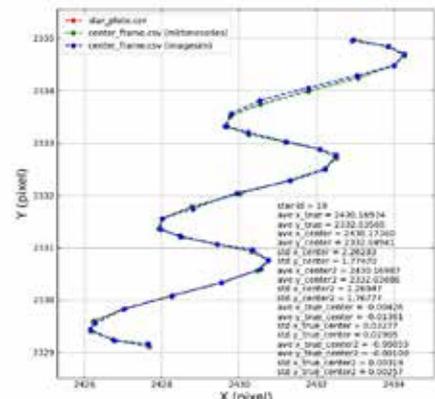
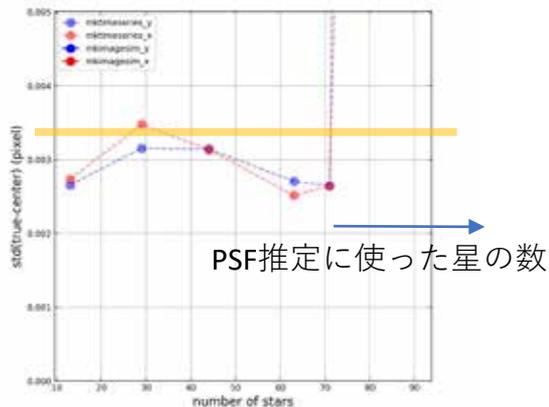
精度が十分でないケースの識別
 ⇒アルゴリズムの改良

推定した星像の中心と、画像生成時に与えた正解との差

パラメータと達成精度の関係を実証



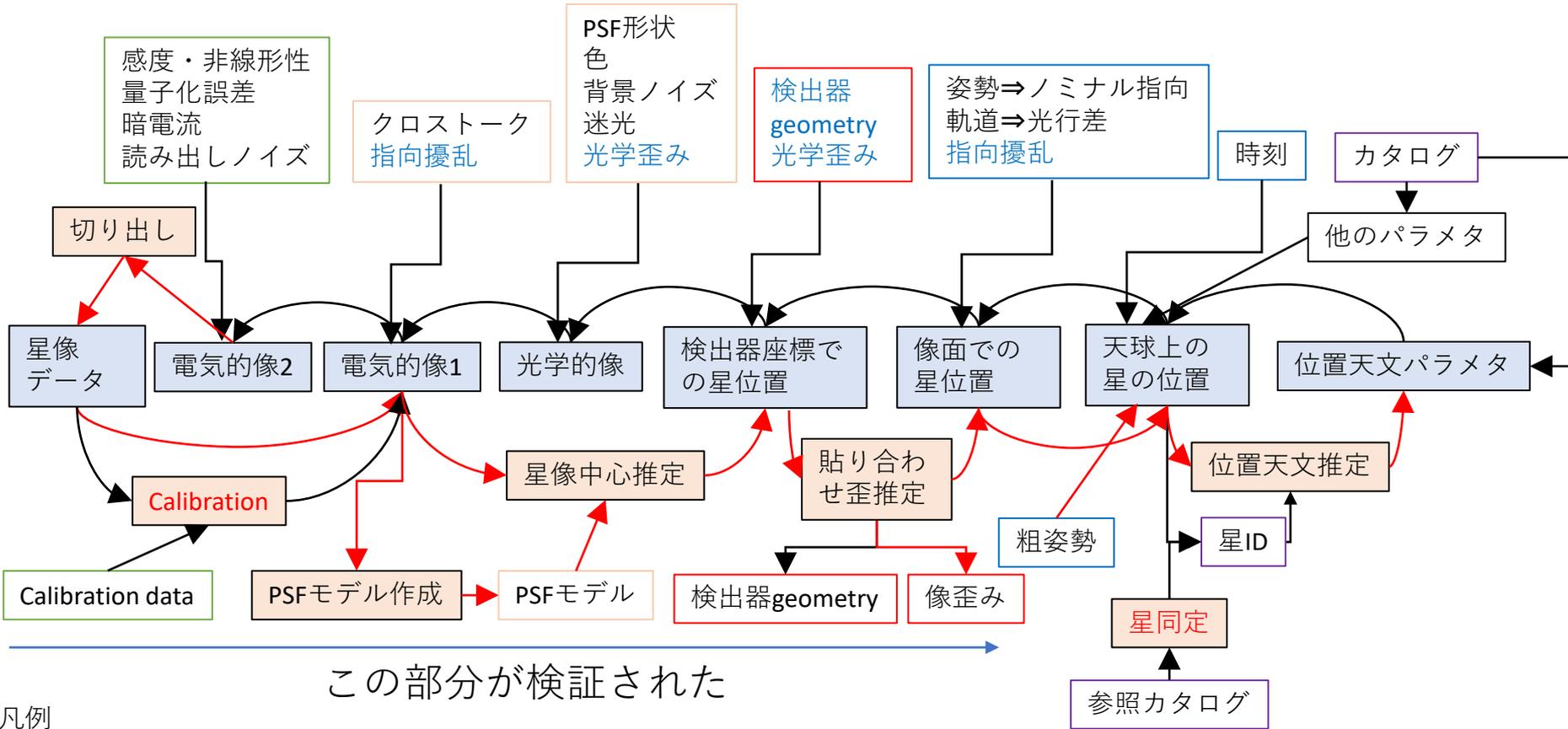
誤差



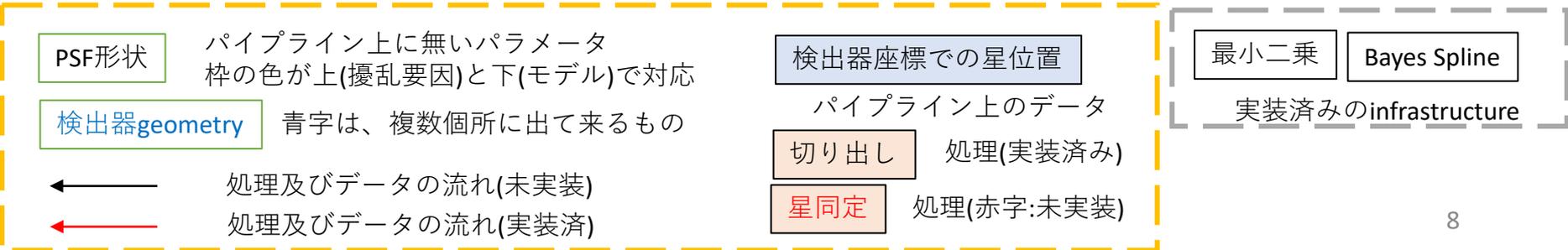
運動の推定部分は今後検証

データ解析・End-to-End simulation

物理情報の流れと解析の流れ



凡例



今後の課題

- 解析精度のパラメータ依存性の調査
 - 撮像される星の数、星の明るさ、位置天文パラメータ既知の星の数、撮像Plate数
- PSF形状推定に含まれる系統誤差要因の検討
 - PSFの変動(時間的、視野内の位置、星による違い)
 - ピクセル内の中心位置の違いによるずれ
 - 星の数とPSF形状推定精度の関係
- 処理の高速化
 - 10万星、50万撮像⇒巨大な問題
 - アルゴリズム、メモリアクセスパターン、並列化