

小型JASMINEのデータ解析と測光シミュレーション

Data analysis and photometry simulation of Small-JASMINE

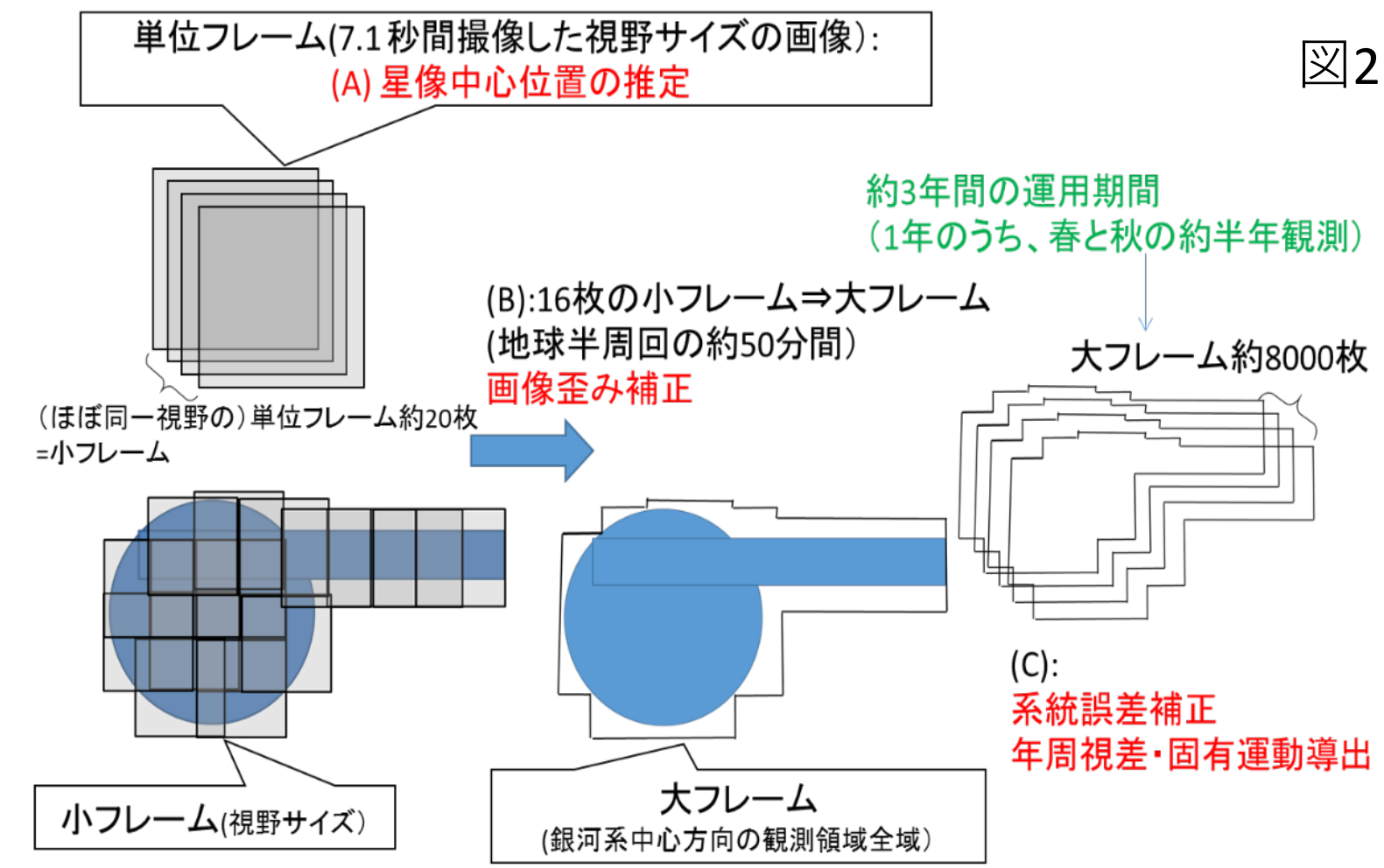
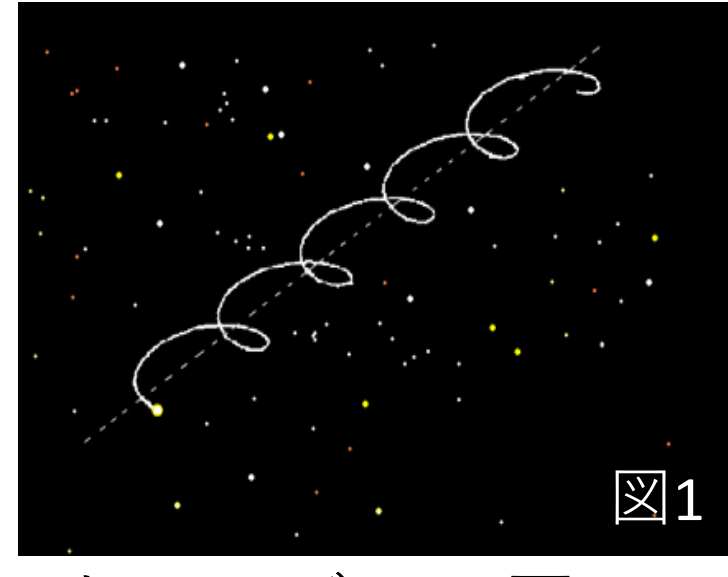
P2.01

山田良透(京都大学)、河原創(東京大学)、片坐宏一(宇宙科学研究所)、辰巳大輔(国立天文台)

Abstract: 小型JASMINEは、2019年5月にPrePhase A終了審査を終えた。主科学目標であるバルジの赤外線位置天文観測以外に、系外惑星のトランジット観測も行うためのconsortiumが組織された。MDRまでに、データ解析のend to endシミュレーションを行うとともに、系外惑星の観測では高い測光精度が要求されることから、測光精度の詳細評価を行う。この途中経過を報告する。

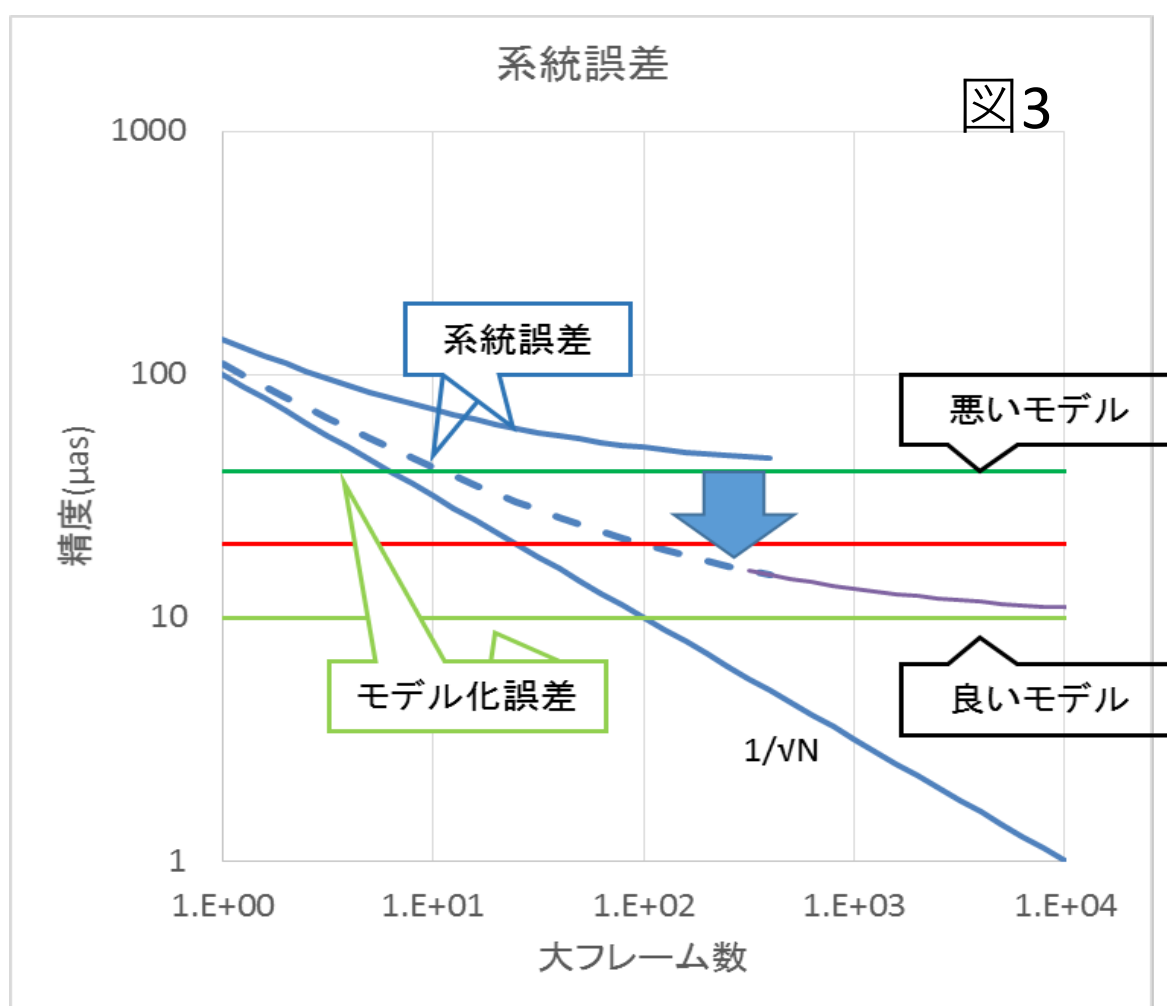
Astrometryは、地球が太陽の周りを公転することによる星のらせん運動(図1)を、時系列観測により推定するものである。

$$\xi_{ij} = \lambda_i + \mu_{\lambda i} \cos \beta_i t_j + \pi_i \sin(L - \lambda)$$
$$\eta_{ij} = \beta_i + \mu_{\beta i} t_j - \pi_i \cos(L - \lambda) \sin \beta$$



小型JASMINEの観測ストラテジは、図2に示すようなものである。
①ほぼ同じ場所での撮像を約20回行い、小フレームを完成する
②これを半視野ずつずらした約16視野連続して撮像し、軌道半周で大フレームを完成する
③これを3年間、一年のうち6か月の観測で、約8000枚の時系列観測をする
この中で、星の運動と装置の変動(フレームの歪みや検出器の特性変動等)を同時に推定する。

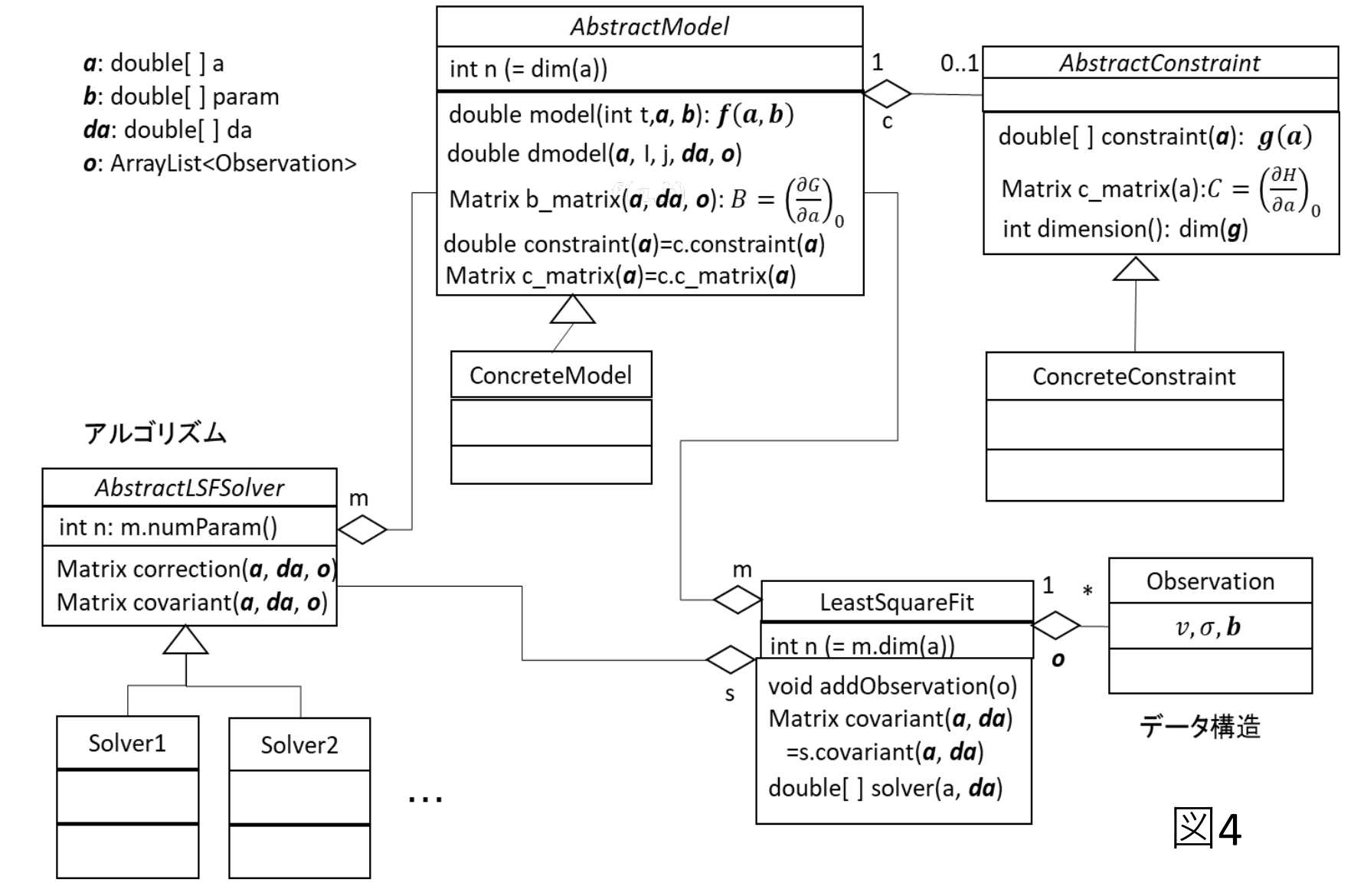
観測の原理は、多数回の観測により、誤差を \sqrt{N} で低減させることによって、一回の測定では達成しえないレベルの精度の達成を目指すものである。 \sqrt{N} の低減からそれてくることで、系統誤差を発見することができる。(図3)



前回までに、データタイプの整理、誤差要因の整理などを行った。このソフトウェアはかなり規模の大きなものであり、優れた一人の能力に頼って開発を行ったことにより、開発の継続が困難となることは避けなければならない。そのため、ISO 15288:2015 (system life cycle process)やISO 12207:2017 (Software life cycle process)に準じた開発を行う必要がある。このため、能力のあるメーカを紹介していただき、2019年1月頃から、メーカ委託による実装作業を開始し、上記ISO基準のJIS化などに係わった、日本でのlife cycle processの第一人者のアドバイスを待つ、Software design documentの執筆・修正を行ってきた。

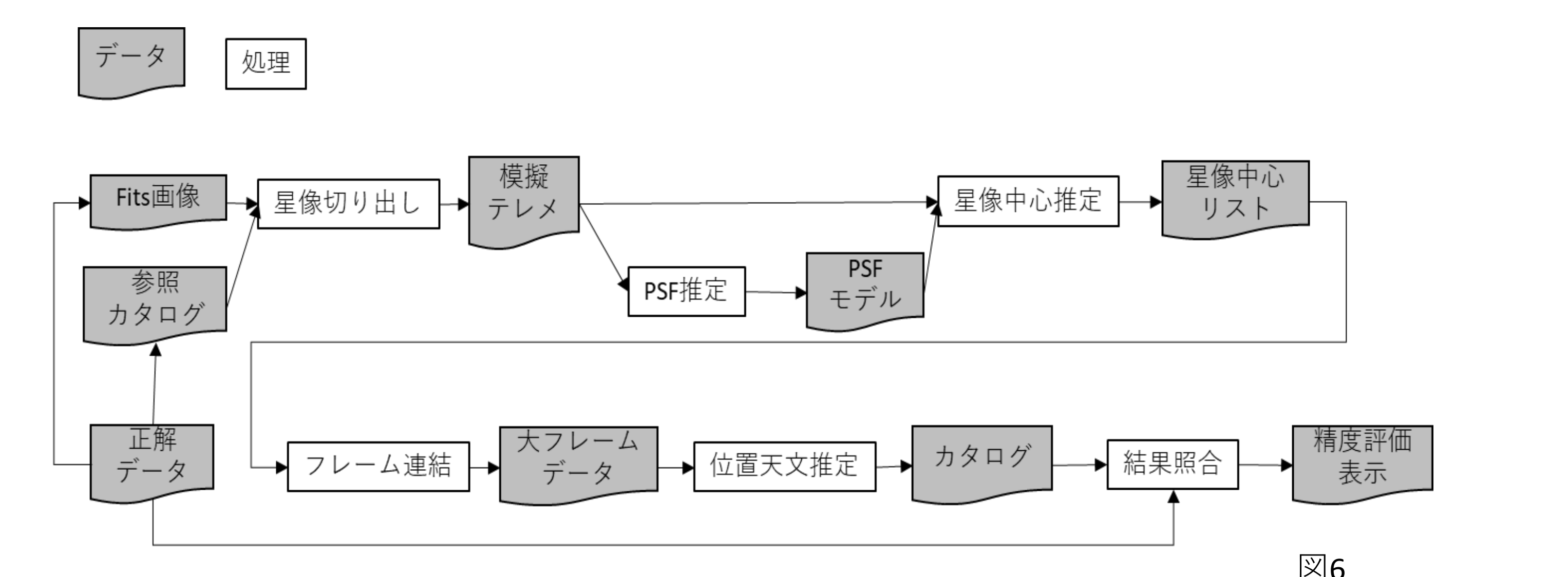
$$F(x, a, b) = \begin{pmatrix} G(a, b, x) \\ H(a) \end{pmatrix} = 0$$
$$\begin{pmatrix} X\sigma X^T & A \\ A^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \\ \Delta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Least square fit with constraint



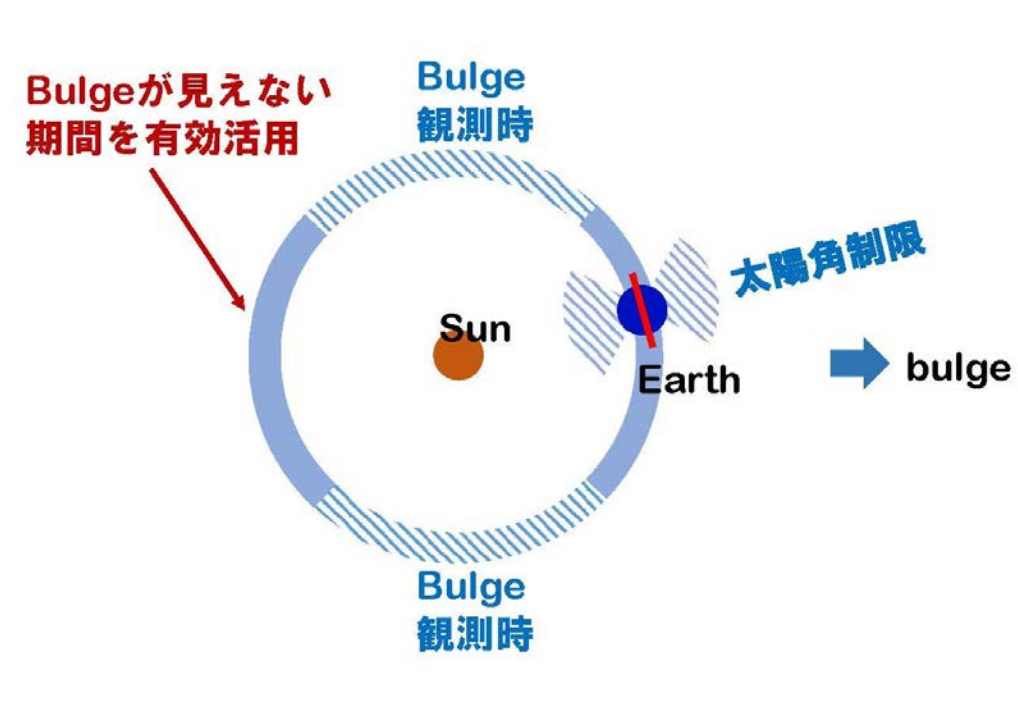
これまで、基本的な最小二乗ライブラリの構築(図4)、Fitsファイルの入出力、ePSFの生成(図5)、プレートゆがみモデルと位置天文パラメタの推定などの基本パーツの作成を行ってきた。

今年度内に、パイプライン(図6)の実装及びGPU化を進める予定である。

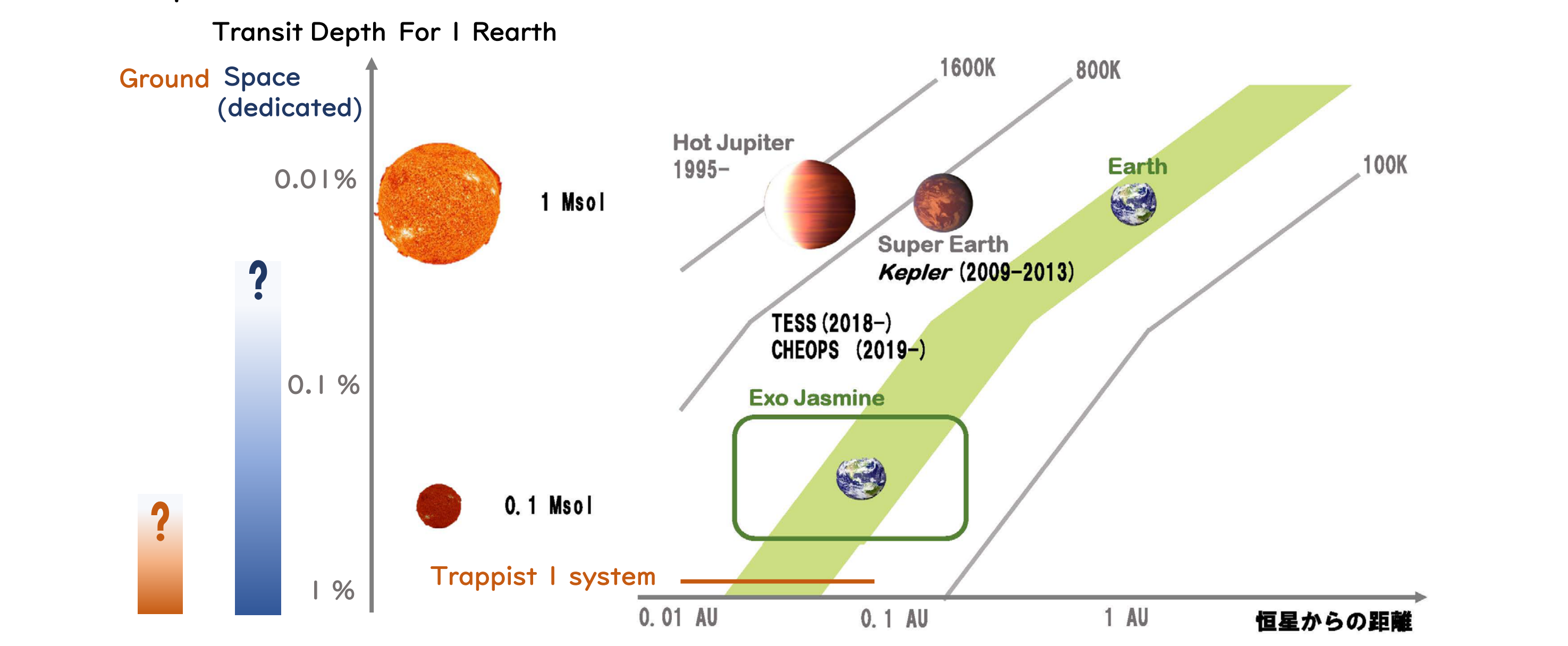


Exo JASMINEとは?

JASMINEの主科学目標であるバルジ方向を観測できる時期は限られているため、バルジを観測できない約50%の期間中に晩期型星まわりの系外惑星のトランジット探査を行う計画がExo JASMINEである。Exo JASMINEは、TESS/Keplerのようなサーベイ型ではなくターゲットを個別にモニターするPIT型の探査を行う。

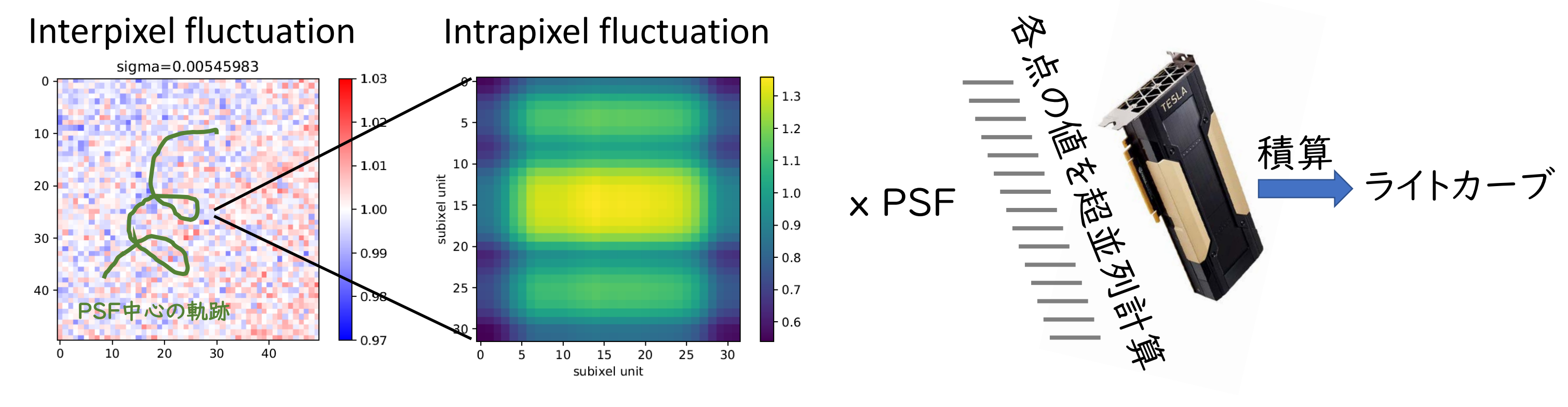


ターゲット恒星は、0.2R_J、3000K程度のもので、地球から16~25pc程度である。トランジット深さは0.2%程度、ハビタブルゾーン付近の周期数週間のものである。これらはJWSTによる追観測可能な重要なターゲットを提供できる。0.2%程度のトランジットを検出できるが、feasibilityのキーとなる。ただし検出確率をあげるためにTESSや地上サーベイで内側のトランジット惑星が検出されているものに絞ってサーベイを行う。これにより既知の内側トランジットの半径、ephemerisのrefineも可能となる。

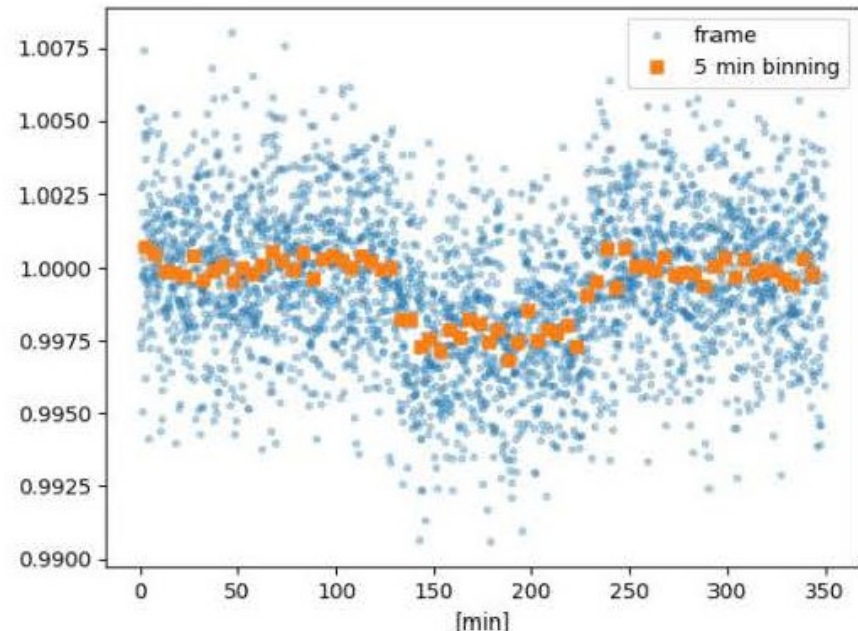


Virtual JASMINE

Exo JASMINEのfeasibility評価のためのシミュレータ、Virtual JASMINEを開発中である。Virtual JASMINEでは、ピクセル内(intrapixel)、およびピクセル間(interpixel)の感度ムラをGPUを用いて高速サンプリングし、ポインティングの時間変化に対して、どのようなライトカーブが得られるかを計算できる。また各種ノイズを付加できる



測光シミュレータによる mock light curve(補正前)



H等級で、観測ノイズを評価し、必要精度で観測可能な星は、およそHwバンドで9.5等から10.5等程度であることがわかった。シミュレーションによる高度曲線は、左図の通り。

ノイズ源として、検出器のpersistenceについても詳細に調べた。Tullock+, 2019, "Predictive model of persistence in H2RG detectors"を参考にしてモデルを作成し、すばる搭載のIRD検出器によるテスト観測でパラメータを求め、影響を評価した。古い検出器は10%程度の大きなpersistenceを示すが、新しい検出器ではpersistenceは0.1%程度で、JASMINEの観測においては問題にならない程度に小さいことが判明した。ただし、運用温度が異なることは、注意を要する。

Virtual JASMINE進捗

- ✓ 検出器intrapixel fluctuation
- ✓ 検出器interpixel fluctuation
- ✓ persistence

Not Yet PSF中心の軌跡
Not Yet PSF distortion
Not Yet Photometry Retrieval - Drift的な姿勢乱れではK2でやられているようなretrievalが必要になる

Exo JASMINEターゲット選定

系外惑星探査の状況は日進月歩なため、打ち上げ時の状況にあわせたターゲット選定が必要である。これはサイエンスに基づいた時宜を得た戦略が必要。そのための検討メンバーを募集しています。

ご興味のある方は河原までメールください
kawahara@eps.s.u-tokyo.ac.jp

Exo JASMINE概要は、<http://secondearths.sakura.ne.jp/ja/sat.html> にあります