



JASMINE計画の 全体的な概要と進捗

JASMINE : Japan Astrometry/photometry Satellite Mission for Infrared Exploration

郷田直輝（国立天文台JASMINEプロジェクト）
JASMINEチーム一同





1.JASMINEの ミッションコンセプト

JASMINE: Japan Astrometry /photometry Satellite Mission for INfrared Exploration
超高精度位置天文観測およびトランジット法による系外惑星探査

- 口径36cm程度 超高安定望遠鏡
- 国産赤外線検出器(InGaAs)
 - 観測波長: 1.0-1.6 μm 、2k \times 2k画素 \times 4(TBD)
- イプシロンSロケットによる打ち上げ(2028年目標)
(JAXA宇宙研の公募型小型計画3号機)
- 衛星重量550kg (打上げ重量・燃料込み) 程度
- 太陽同期軌道・高度550km以上、3年間観測
- 科学目標
 1. 星の距離と運動を測定することにより、天の川銀河形成の鍵を握る中心核構造を明らかにする。
 2. 時間軸天文観測により、将来の生命探査に有望な恒星に対し、生命居住可能領域に存在し、大気観測を行うことのできる地球型惑星の有無を明らかにする。
- 春と秋期→銀河系中心核領域方向の**位置天文観測**
- 夏と冬期→**トランジット観測**による中期M型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探査

1.JASMINEの ミッションコンセプト(続)

★JASMINEのアウトプットデータ

*銀河系中心核領域方向において観測した星の天球面上の位置変動の時系列データおよびそこから導出される星の年周視差、固有運動等をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開する。さらに、系外惑星探査対象天体の時系列測光のデータカタログを世界の研究者へ公開する。

春と秋期:

銀河系中心核領域方向のサーベイ (TBD)

10秒間程度(TBD)撮像し、
 ~9.5等級<Hw(1.0~1.6 μ m)<~14.5等級の
 約10万個以上の星を切り出して、地上にダウンロード
 * $H_w \sim 0.9J + 0.1H - 0.06(J-H)^2$

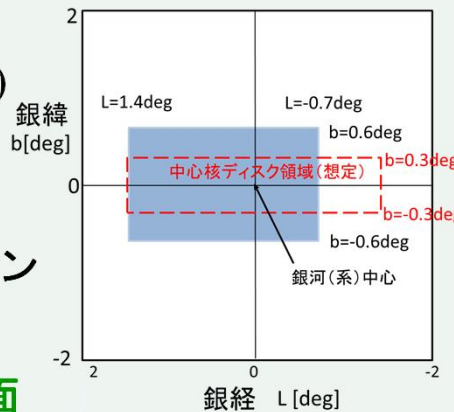
20回程度(TBD)に1回の割合で1視野の全画面もダウンロード

年周視差精度: 25マイクロ秒角~125マイクロ秒角 (25 μ 秒角=>銀河中心での距離の誤差が20%に相当)
 固有運動精度: 25マイクロ秒角/年~125マイクロ秒角/年 (銀河中心での接線速度の誤差が1km/s~5km/s)

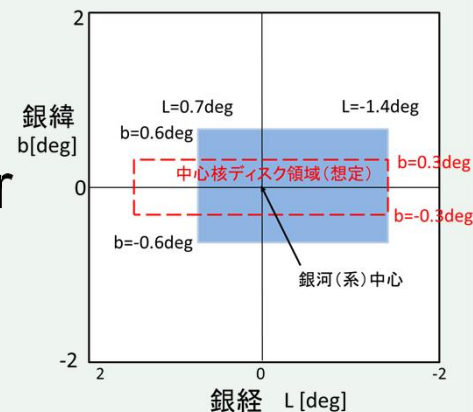
夏と冬期:

系外惑星探査を目的としたターゲット天体の時系列測光観測

17個以上の対象天体に対して、測光精度が0.3%以内の時系列測光データ(1つの対象に対して観測期間が2-5週間以上)



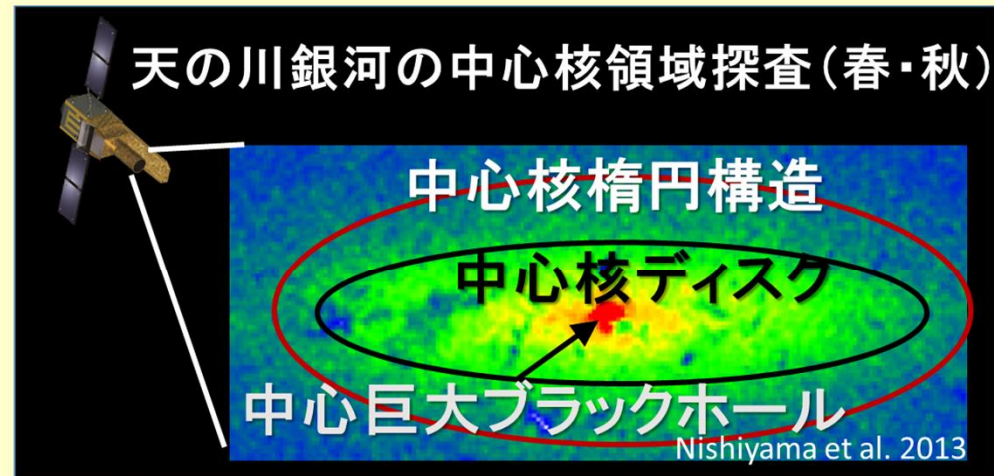
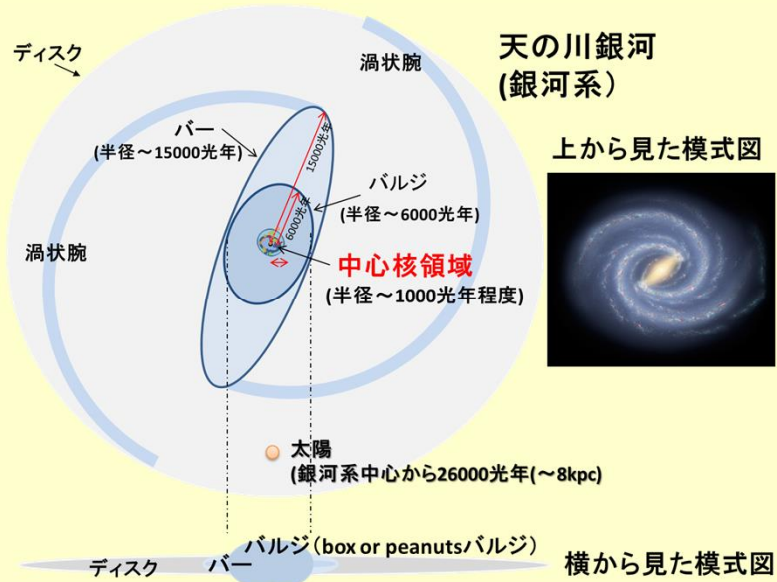
or



科学目標1：

天の川銀河形成の鍵を握る中心核構造を明らかにする。
近赤外線、Gaiaが苦手な**天の川銀河中心核領域**の位置天文観測

JASMINEによる**銀河中心考古学**の遂行



中心核領域は“**歴史の宝庫**”
様々な年齢をもつ星が、年代に応じて、
異なった空間構造と系統的な運動分布
をして今も存在していると
考えられている。

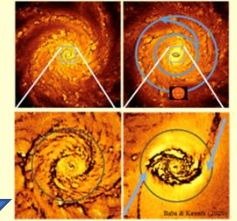
天の川銀河誕生から
現在までの様々な年代の
地層が潜んでいるイメージ！

天の川銀河の形成史解明にも
つながる

★JASMINEが遂行する銀河中心考古学

中心核領域 (~中心核バルジ)

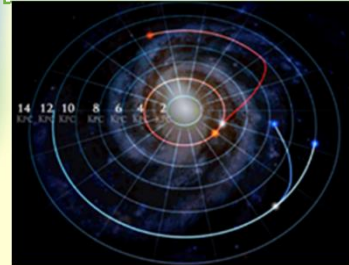
目標(1): ミラ型変光星を用いた中心核ディスクの**形成時期**の解明



Baba & Kawata (2020)

バー構造の形成時期

太陽系の移動解明



中間質量BHの発見等

目標(2): 中心核ディスクの構造解明
巨大BHの進化と銀河系中心の活動(ガスの輸送機構)の解明につながる中心核で回転する**内部バー構造の存在解明**など

超高速星?
($> \sim 700 \text{ km/s}$)
巨大BHによる重力散乱?



目標(3): 中心核楕円構造の解明
中心核ディスク周りにも拡がり、力学構造も異なる構造とその起源の解明
=> **銀河系誕生期の痕跡**
(古典的バルジ)または
巨大BHの落ち込みの痕跡?

中心核楕円構造

*** 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 ***

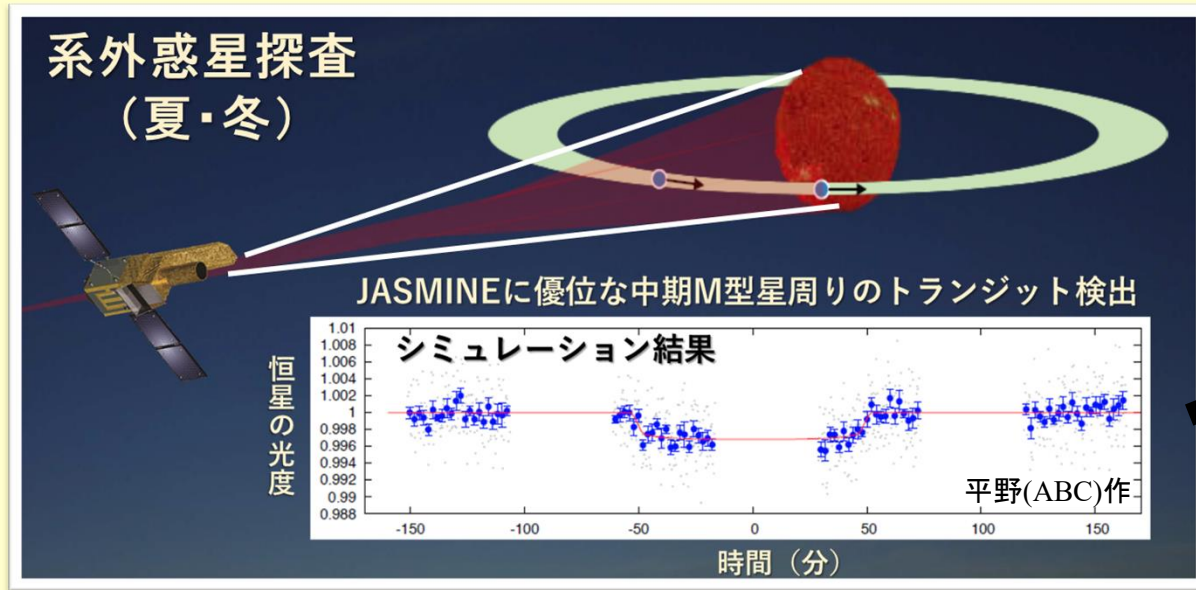
隠れた星団の同定
=> 星団形成史、
中間質量BHの発見

星の位置運動情報から星団の誕生した領域を探る。

超高速星はどのようにして存在するのか?

多様な天体の探求:
重力レンズ天体、
コンパクト天体等

科学目標2:トランジット観測による中期M型星周りの生命居住可能領域 (ハビタブルゾーン)にある地球型惑星の探究



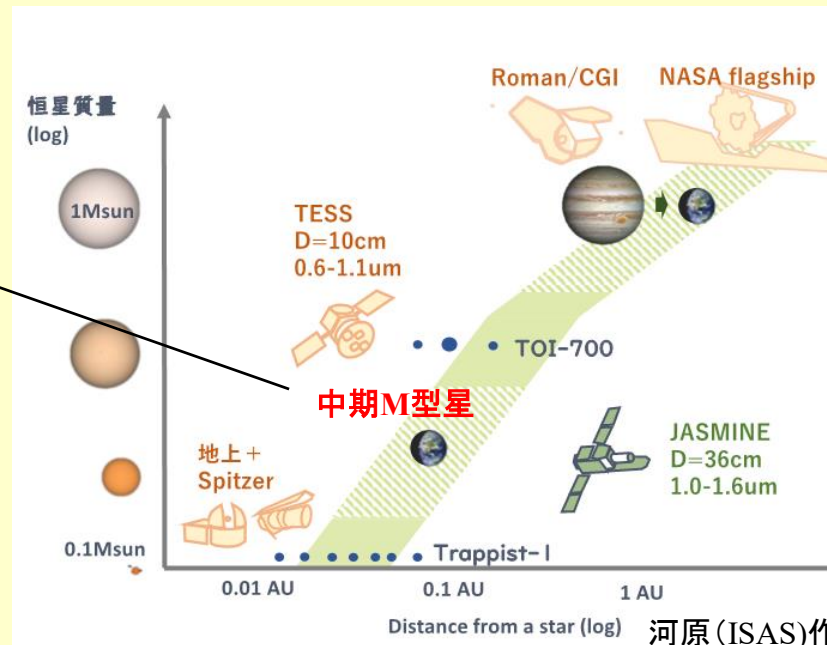
JASMINEの位置天文観測に要する性能があれば、生命探査に適した惑星発見の可能性あり!

JASMINEでのみ狙えるターゲットであり、他の衛星プロジェクトに対し有利

**中期M型星:
3000K, 0.2 R_{sol}, 0.2 M_{sol}**

*近赤外線観測が、光子数的にも恒星の活動に起因するノイズを抑えるのにも有利

*地球型惑星のトランジットの深さ = 0.2-0.3%



その他、測光データに関するサイエンス関連

以下、2022年天文学会秋季年会企画セッション(2022.9.13~9.14)

「JASMINEが切り拓く近赤外時系列位置・測光天文学」で講演があったもの

1. M型星周りの地球型惑星探査に関する地上観測とスペース観測の連携
2. M型矮星のハビタブル惑星の理論的可能性
3. 系外惑星大気赤外分光観測衛星計画Arielとの連携
4. 星団領域の若い惑星探査
5. 連続測光による超巨星-中性子星連星系、BeX線連星系探究
6. 褐色矮星の光度変動→褐色矮星の大気内での循環および雲生成
7. 星団中の星の自転変動→系外惑星の大気進化の議論へも進展

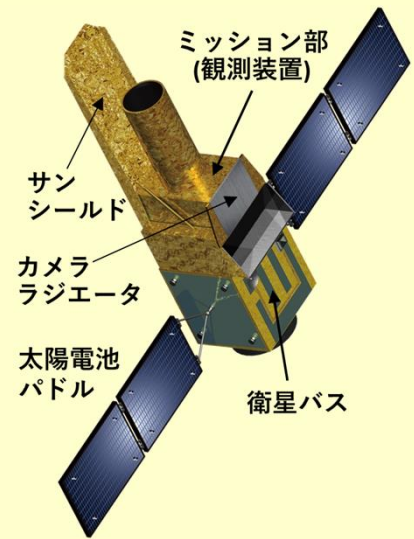
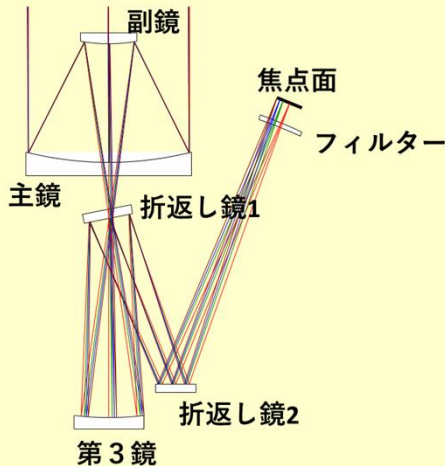
3. ミッション概要と進捗状況

★ 望遠鏡とミッション部構造の概念検討と進捗

○ 収差の少ない望遠鏡光学系

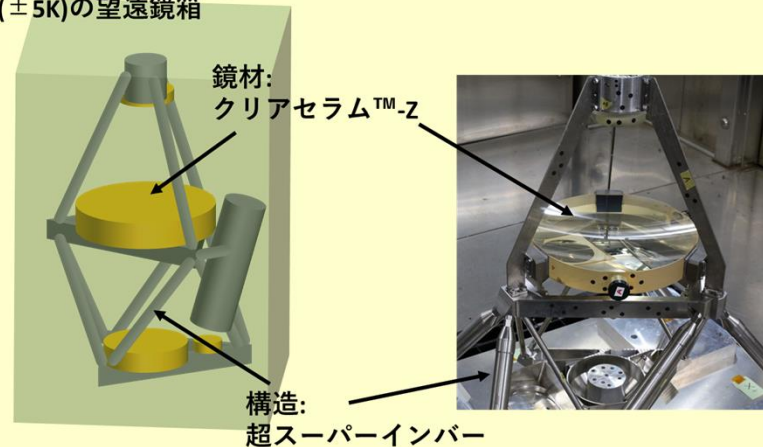
“**コルシュ光学系**” V-252b(鹿島)
講演参照

望遠鏡主鏡口径： 360 mm
焦点距離： 4370 mm
フィルター波長域： 1.0~1.6 μm
焦点面視野： 0.52度 \square



○ 熱変動の少ない望遠鏡構造

定温($\pm 5\text{K}$)の望遠鏡箱



* 進捗状況：

ミッション部を含むシステム開発に関しては、複数の衛星メーカー候補と概念検討を進めている。具体的には光学設計、熱構造検討、開発計画・試験計画、コスト評価などを進めてきた。

★赤外線カメラ開発の概要と進捗

撮像

- 検出器: InGaAs (2k×2k) ×4個
- 観測波長: 1.0～1.6μm
- 視野: ～0.5度×0.5度
- 画素: ～0.5秒角
- 露光時間: ～10秒
- 読出時間: ～1秒

冷却

- 検出器動作温度: ～175K
- 方式:放熱板+ペルチェ(TEC)

軌道上でのフラット校正

- LED+Single-mode fiber

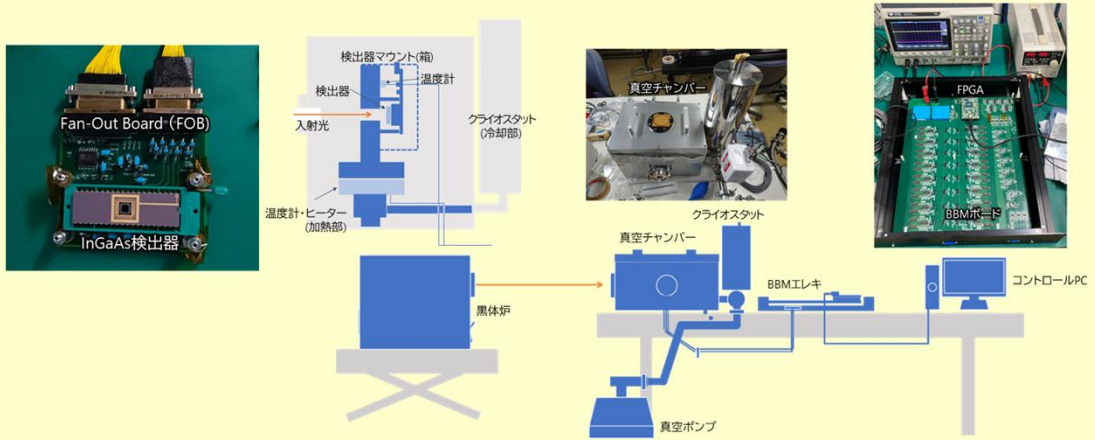
* 進捗状況 :

○センサー

2021年度に試作した小フォーマット(128×128)センサ

詳細は、V-249a(宮川)講演参照

- インハウスにおける冷却性能評価試験の環境を整備し、試験を実施。
InP基板除去および反射防止コートを均一に施工できていることを確認。
- 宇宙線によるノイズの低減と、感度(量子効率)向上が見込まれる。



* 赤外線カメラの進捗状況（続き）：

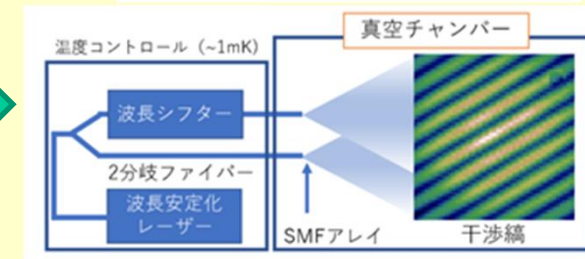
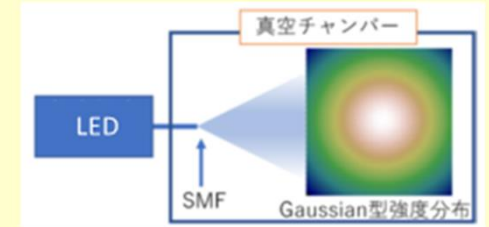
○ センサー（続き）

- ・大フォーマット(2k×2k)センサ

→ InP基板除去および反射防止コートの実験を実施中。問題なく進行中。
さらに放射線対策を施した読み出し集積回路の設計および製作を完了。
機械環境試験、放射線耐用試験は、2023年度に実施予定。

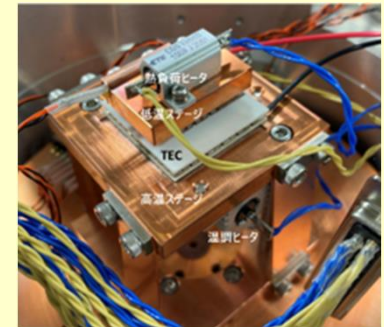
○ 高精度較正システムの開発 詳細は、V-250a(多田)講演参照

- ・Single-Mode Fiber(SMF)の安定した輝度分布による
衛星搭載可能な画素間感度ムラ較正光源を開発中。
- ・2本のSMFによる干渉縞による、画素の位置ずれやサイズムラ、画素内感度ムラの事前測定系を準備中。



○ 検出器箱(Detector Box Assembly)

- ・センサーの支持と冷却を担う
- ・熱・構造設計は国立天文台先端技術センターが主担当
- ・概念検討：要求仕様を満足する熱・構造を実現する設計解が少なくともひとつは存在することが確認されている
- ・TEC性能試験の継続中@先端技術センター



○ 搭載エレキ関連

- ・複数のメーカーと検討を実施中。BBM製作やFM開発の立案など

○ 信頼性等管理への対応

- ・国立天文台技術推進室の協力を得て、信頼性等の計画書案の作成を行っている。

★利用・運用コンセプトの概要と進捗

* 軌道

- ・ 太陽同期極軌道、高度>550 km
- ・ 科学運用(ノミナル)～3年
- ・ Epsilon-Sロケットによる軌道投入

* 運用シーケンス

- ・ 春/秋: 銀河系中心核領域の位置天文観測
- ・ 夏/冬: 中期M型星のトランジット観測

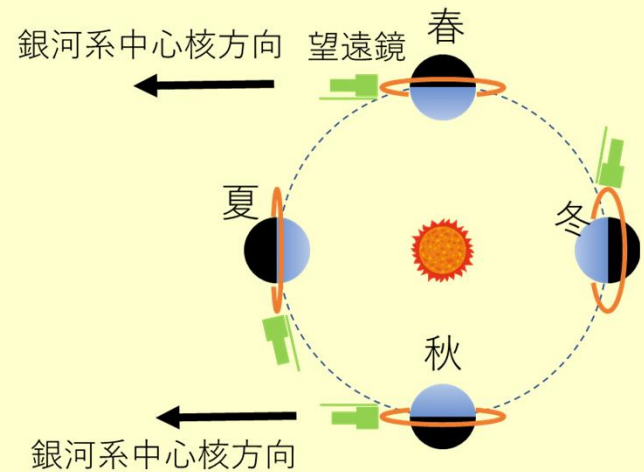


* 観測実現のための地上系の検討

- ・ 宇宙科学研究所の科学衛星運用・データ利用ユニット(C-SODA)の協力で進めている。
- ・ 地上局はJAXA以外に海外機関や民間企業の地上局利用を検討中。

* 観測データのカタログ作成と公開準備

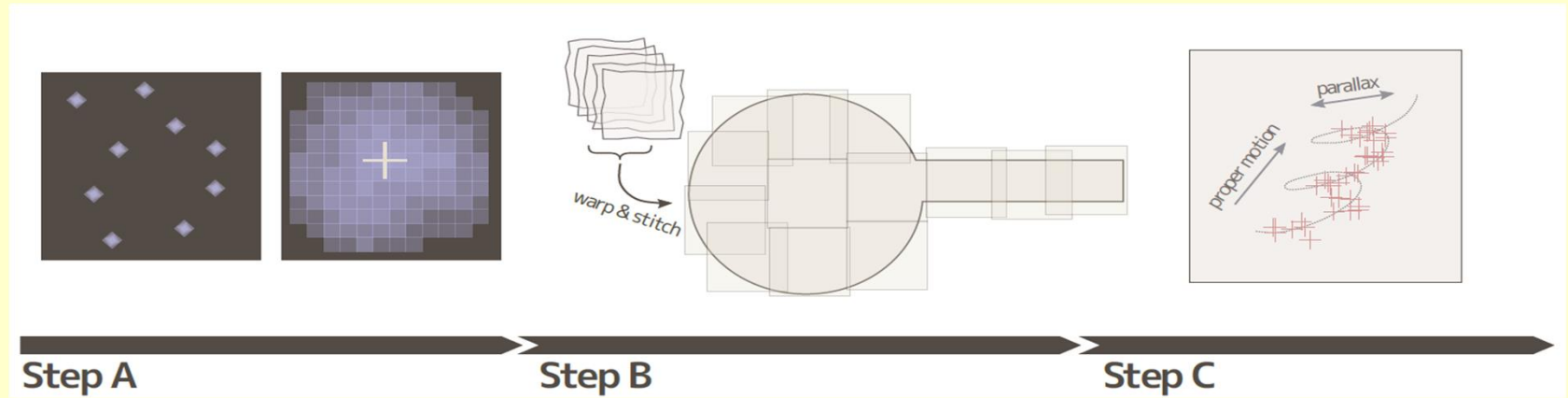
- ・ 国立天文台天文データセンター(ADC)の協力を得て、ADCにより観測データカタログの公開を予定している。ADCとは検討を開始し、定期的な会合を開催していくこととなっている。
- ・ 研究者コミュニティからの要望にできる限り沿うように、データの透明性、信頼性を高め、またタイムリーに有効利用をしてもらえるように、データを性能レベルでいくつかの段階に分け、準備ができたレベルのデータから迅速に公開することを目指すこととしている。



★ データ解析・End-to-End simulation(E2E)の概要と進捗 → 詳細は、V-251a(山田)講演参照
 データ解析関連で、V-253b(矢野)講演参照

■ JASMINEのデータ解析

* 最高目標精度: 25 μ as → 東京から見て、100km先にある、富士山頂に立っている人の髪の毛1本の太さの約5分の1を見込む角度



Step A
 データ取得および
 星像の中心位置推定

Step B
 軌道半周回での画像貼り
 合わせ

Step C
 数千回の観測から位置天文
 パラメータ決定

E2Eチームとして、国内外の大学研究機関から約20名が開発に参加。

- *GitHubを用いたコードの共同開発。Slackによる日常的議論、毎週の全体会合
- *実際の恒星カタログを用いた評価、試作中の赤外線センサーの実データや、衛星の実運用を考慮した誤差量を反映して達成精度の検証を実施中。
- *Gaiaメンバー(ハイデルベルグ大学)が参加中

*進捗

- *ハイデルベルグ大学のJASMINE担当者4名が国立天文台に来訪(11/29-12/2)。会合を開催した。情報の共有、JASMINEで用いるデータモデルについての整理、Iterationによる(年周視差などの)解の収束性について等の議論を行った。
- ・衛星仕様の総合点検のまとめ、さらに、仕様値の広いパラメータ空間での精度評価を継続中

★JASMINE Consortium (JC)の活動

(代表:河田(UCL): 60名程度)の研究者)

サイエンス検討(様々な分野)

コミュニティ: 光赤外、理論、X線天文学、電波天文学、重力波...

研究対象: 銀河系力学・進化、巨大BH、星団・星形成、BH・ダークマター探査、...

+他の観測
プロジェクト
との連携

WG-A: Data Analysis → e2eチーム

データ解析手法の確立とソフトウェア開発

* ビッグデータを扱う光赤外観測プロジェクト、系外惑星観測、...

* Gaiaのデータ解析チームとの国際協力

WG-B: Science Verification and Preparation

科学目標達成に向けてのシミュレーションデータ

(模擬カタログ)などを使っての準備

WG-C: Outreach

JASMINEの成果を広く社会に還元するためのアウトリーチ活動

* White Paperがほぼ完成。投稿準備の最終段階

* 公開のJC meetingを毎年度開催。Science Workshopも兼ねる。
次回は、2023年8月にNAOJ@三鷹で開催予定(ハイブリッド方式) **是非、ご参加を!**

★MWGaiaDNが開始

ヨーロッパの研究教育機関を中心とした国際的ネットワークによる位置天文学の教育プログラム(銀河系中心や赤外線位置天文観測も研究テーマ)がスタート。JASMINEも協力の予定。詳細は今後。



よろしく御願いします

Jasmine

