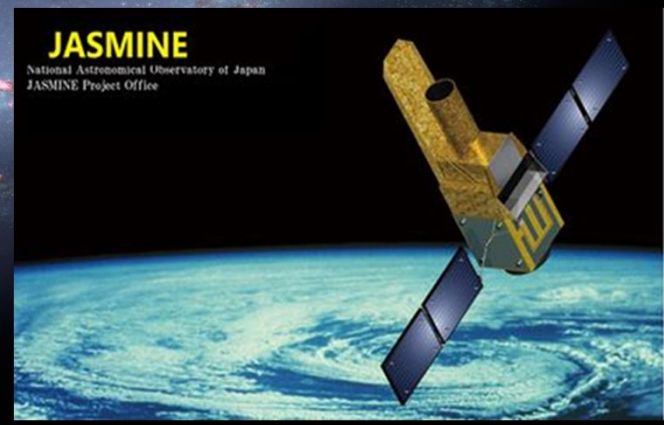




JASMINEの進捗状況

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

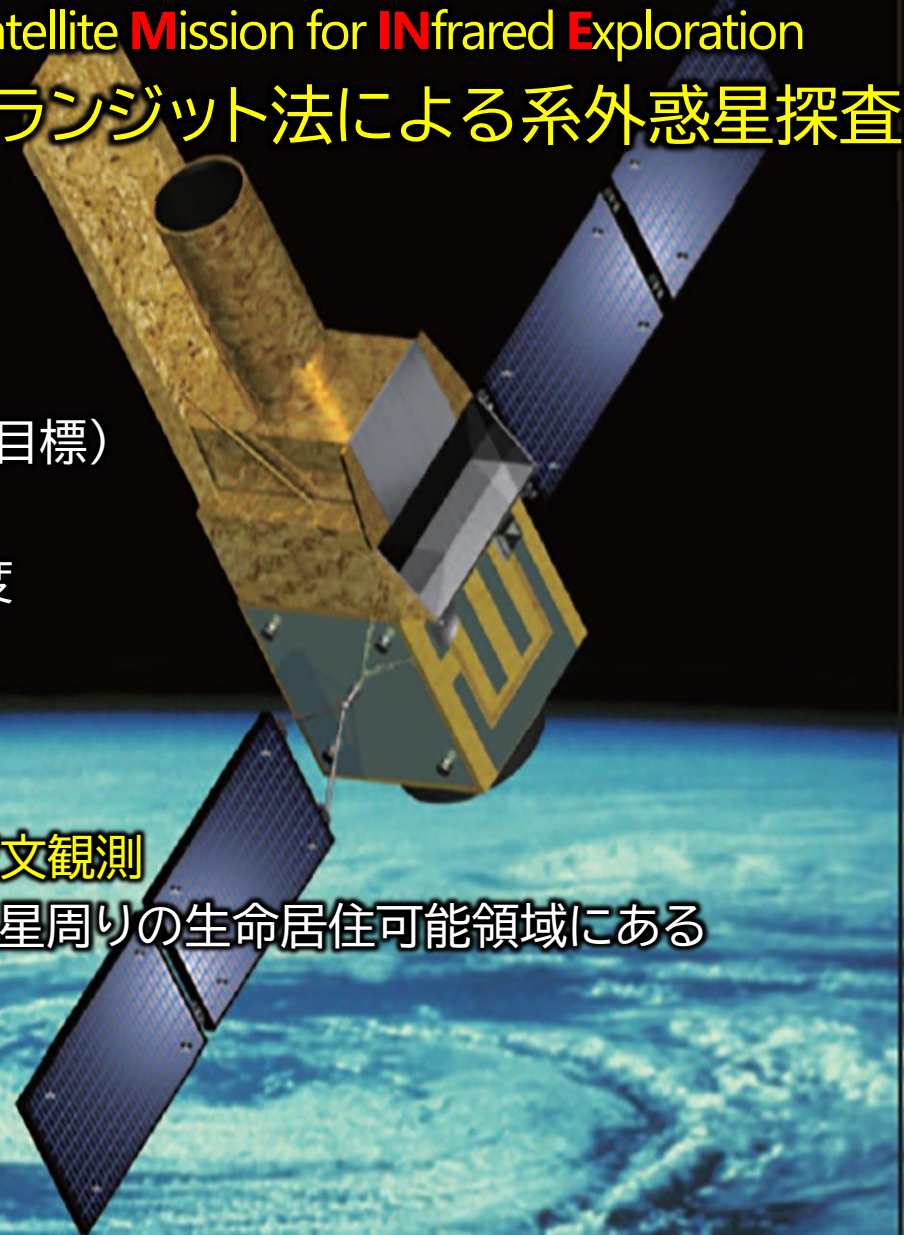
JASMINE: Japan Astrometry /photometry Satellite Mission for INfrared Exploration

高精度赤外線位置天文観測及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 μ m、2k \times 2k画素 \times 4
- 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600kg (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

JASMINEのアウトプット

- 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の天球面上の星の位置変動の時系列データ
 → 星の年周視差、固有運動等のカタログ作成。世界の研究者へ公開。
 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の公開。

春と秋期:

銀河系中心核領域方向のサーベイ (TBD)

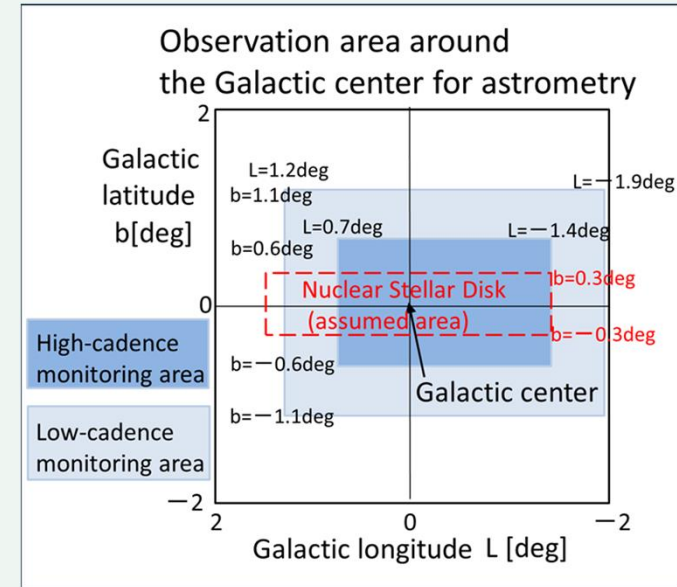
10秒間程度(TBD)撮像し、
 ~9.5等級<Hw(1.0~1.6 μ m)<~14.5等級の
 約12万個以上の星を切り出して、地上にダウン
 ロード *Hw~0.9J+0.1H-0.06(J-H)²

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)

Cf. Low-cadence monitoring area → 35 μ as (μ as/y)~180 μ as (μ as/y)



夏と冬期:

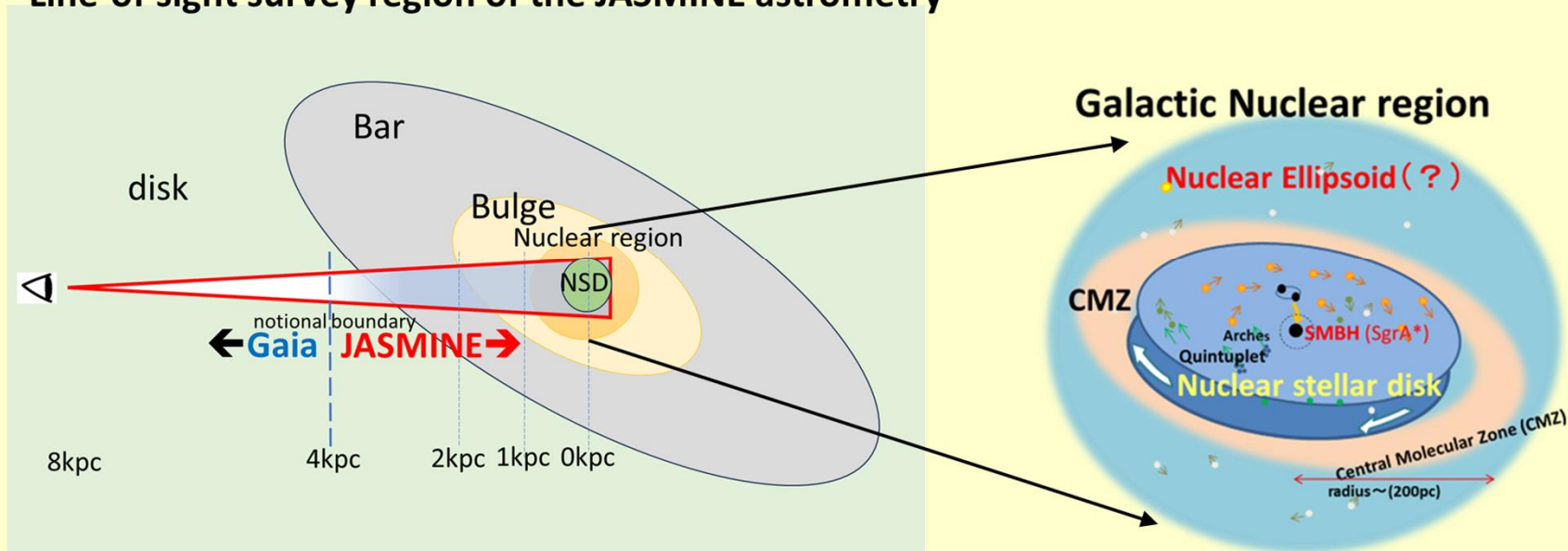
系外惑星探査を目的としたターゲット天体の時系列測光観測

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)

科学目標1：Astrometry

JASMINE explores beyond-Gaia universe

Line-of sight survey region of the JASMINE astrometry



★内部領域：銀河系中心から銀河面にそって(視線方向で)半径～4kpc までの領域

→Gaiaで高精度測定されている(年周視差の相対誤差が20%以内の)星は10個程度。
一方、JASMINEは数万個の見込み。

1 中心核領域： 中心からの半径 $< \sim 0.5-1\text{kpc}$ } 中心核ディスク(NSD)
中心核楕円構造 (古典的バルジ?)
中心核星団

2 銀河面に沿ってのバルジ +long bar+ 内部ディスク

中心からの半径： $\sim 0.5-1\text{kpc} < r < \sim 4\text{kpc}$

内部領域は、まだ詳細は知られていないが、天文学・宇宙物理学にとって重要な多くの情報が隠されている

JASMINE → 天球面上の星の軌跡情報を最大限に利用する

- 運動の3次元空間分布, ...
- + 銀河系内部領域の様々な天体の探査

A. 銀河系内部構造 & 銀河中心考古学



(1) 銀河系中心核ディスク(NSD)の解明

- * 軌道構造
- * 形成時期
- * 内部バー構造の存在？

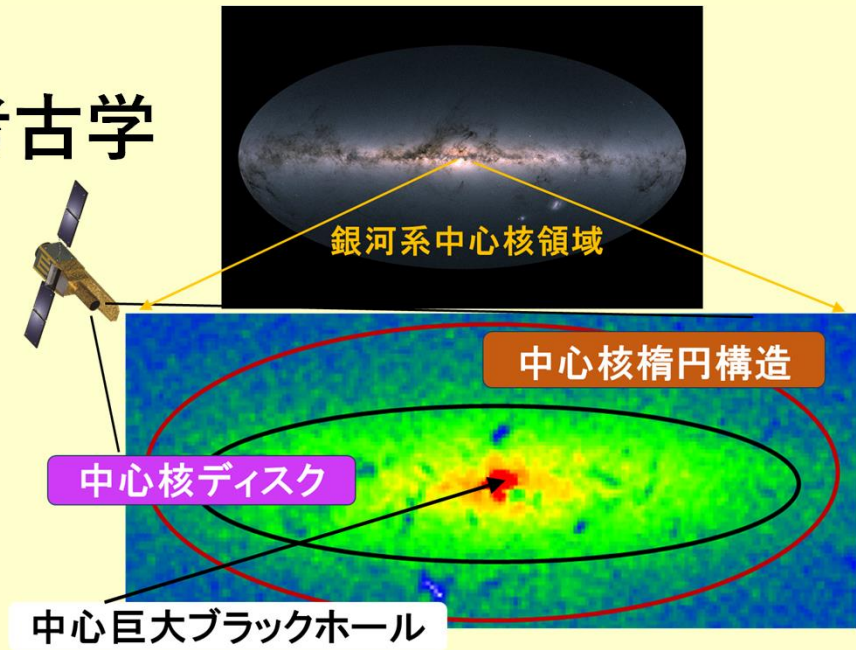
(2) 中心核楕円構造の解明

- 古典的バルジ？
- 複数の巨大BHが落下してきたことによる力学的影響？

(3) ミラ型変光星 → 広範囲での星形成史

(4) 内部領域での隠れた星団の発見

(5) 銀河面にそった中心から半径 $\sim 1\text{kpc} < r < \sim 5\text{kpc}$ の運動分布？ 力学構造？



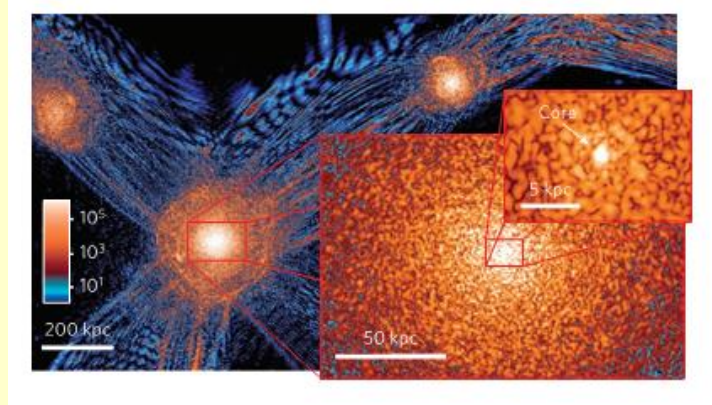
B. 銀河系内部領域に隠れている宇宙解明の鍵を握る“天体”

様々な天体、物質の探査

(1) ダークマター

- * 銀河系中心DM(on the disk)の密度
 - ➡ WIMPの対消滅断面積の上限に強い制限
 - ➡ 素粒子の超対称性理論へ強い影響
- * NSDでの星の運動情報 ➡ ULDMへの制限
- * Primordial Black Holeの質量と存在量への制限 ← 重カマイクロレンズ効果

ULDMによる構造形成



Schive, et al. Nature Physics 2014

(2) ブラックホール

- * ブラックホールー恒星の連星系
- * 孤立ブラックホール

恒星質量のブラックホール？ 中間質量ブラックホール？

(3) X線連星系

-
-
-

★位置天文サイエンスコアチームの発足

メンバー: 西山(チーム長:宮城教育大)、河田(UCL)、松永(東大)、
川中(都立大)、郡、矢野、郷田(NAOJ)
オブザーバー: 河原(他にも必要に応じて招聘)

○サイエンス検討と強化・拡大

○他の観測プロジェクトとの連携強化(＊)

○Science data validation方法の検討と準備

* サイエンスケースの妥当性の事前確認<==模擬カタログ

* 実際のデータ解析後、要求通りのデータ性能があることの
検証方法の準備検討

○若手の育成とコミュニティの拡大

(＊) Photometry+Astrometry: **PRIME**, **Ultimate-Subaru**, ROMAN, **GREX+**...

Spectroscopy: **Subaru-PFS**, MOONS, Milky Way Mapper, ...

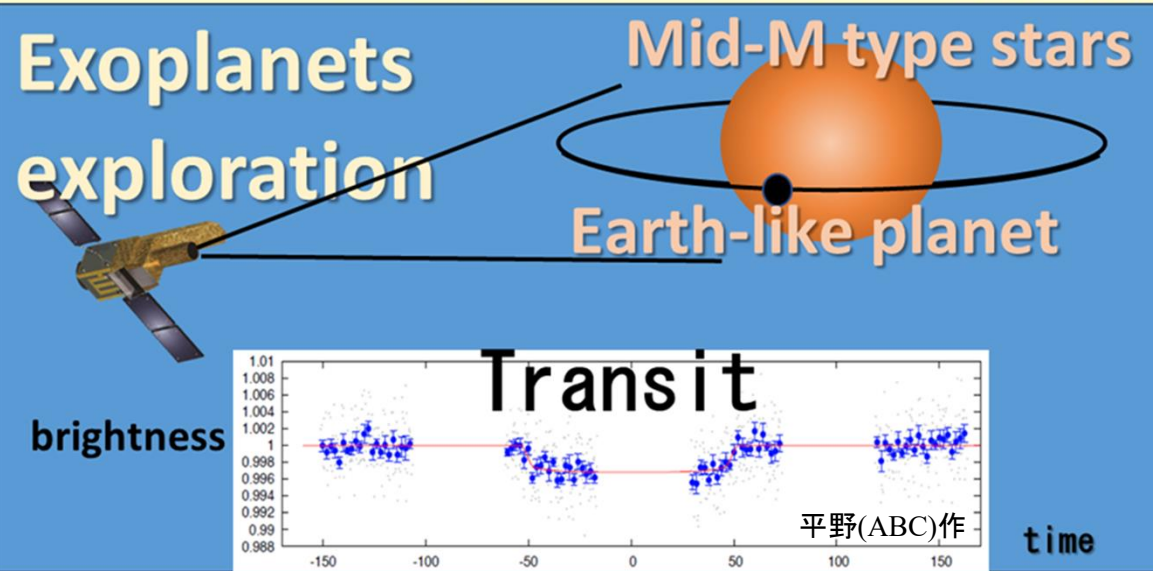
Observation at other wavelengths: **JEDI**,...

Remark: JASMINEのターゲット星は、Subaru-PFSで視線速度(+金属量)測定可能
(西山)



銀河系内部領域の比較的広い範囲で星の6次元位相情報が揃う点でユニーク!

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！

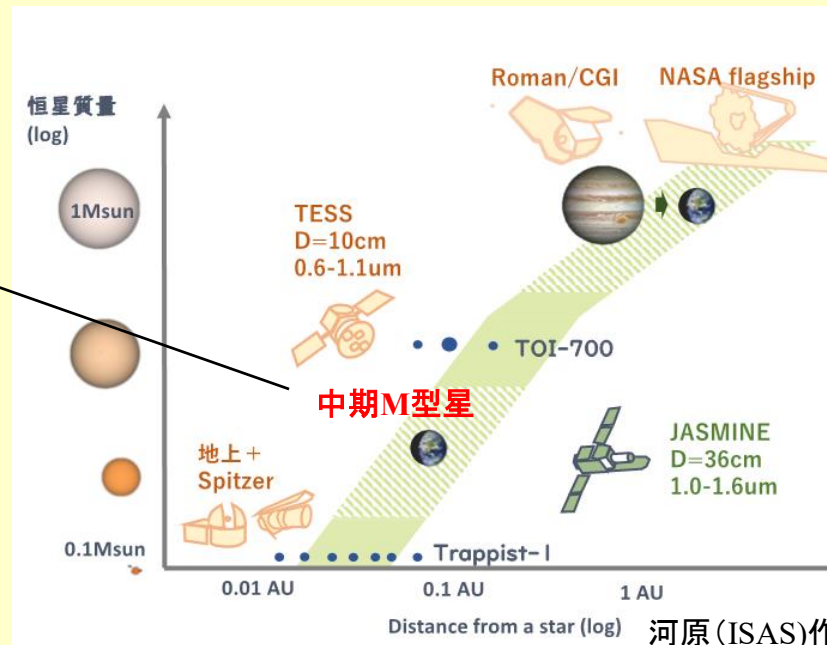


JASMINEでのみ狙えるターゲットであり、他の衛星プロジェクトに対し有利

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%



3. ミッション概要と進捗状況

★ ミッション部の概念検討と進捗

○ 収差の少ない望遠鏡光学系

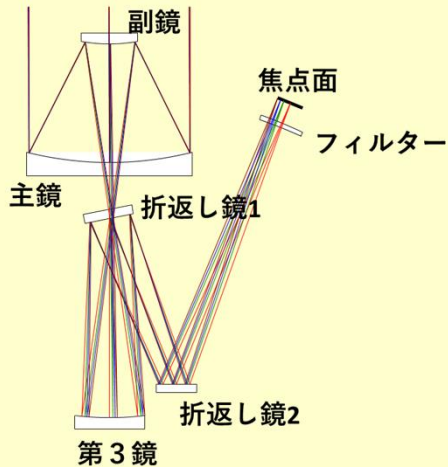
“コルシュ光学系(3枚鏡)”

望遠鏡主鏡口径： 360 mm

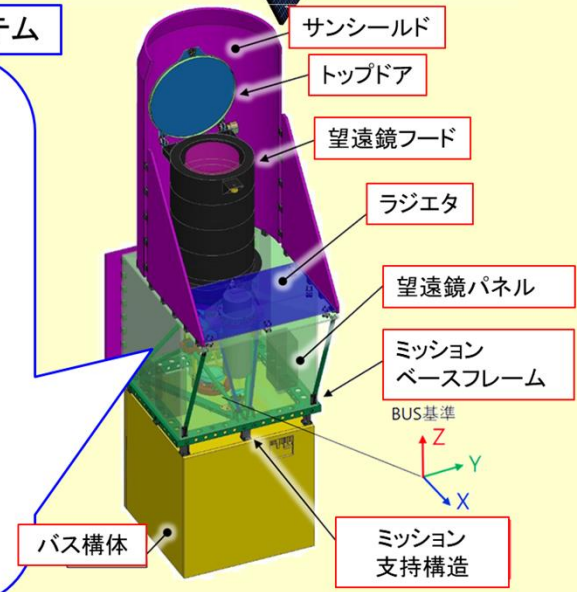
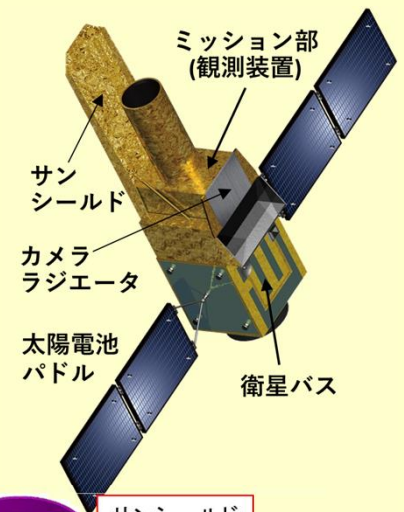
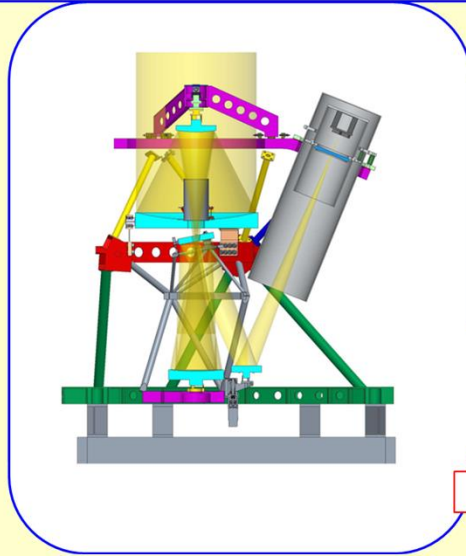
焦点距離： 4370 mm

フィルター波長域： 1.0~1.6 μm

焦点面視野： 0.51° × 0.51°



望遠鏡魔パネル内の望遠鏡システム



(MELCO提供)

○ 進捗状況：

- * メーカーとの望遠鏡構造案の検討。平面鏡の位置・角度の調整
- * ミッション部単体での構造解析・熱解析。ヒートパイプレスで冷却可能を確認。
- * 組立調整方法・試験計画案の検討
- * 質量集計：ノミナルで588kg程度

★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

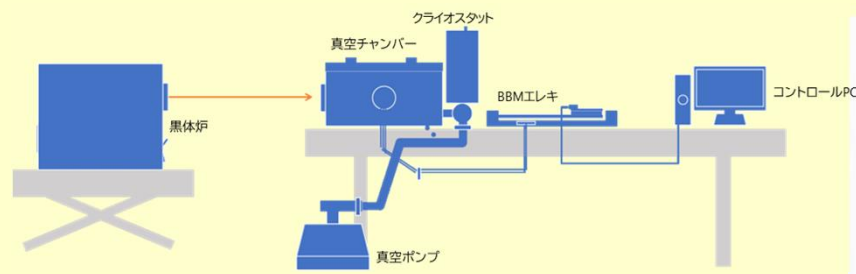
○進捗状況:

* 赤外線センサの宇宙用化に必要な要素技術(基板除去・ARコート)の実証に成功。
 128×128素子の試作(FY2021)、2k×2k素子の試作(FY2022)によって、想定通りの成果を得た。

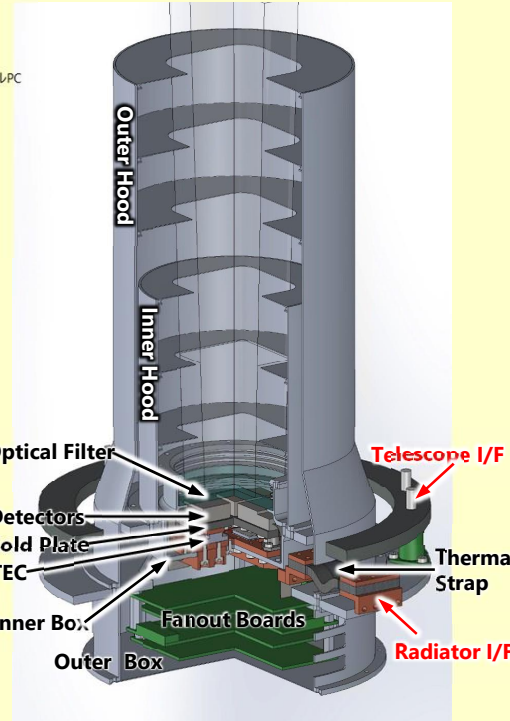


技術のフロントローディング@ISAS/JAXA

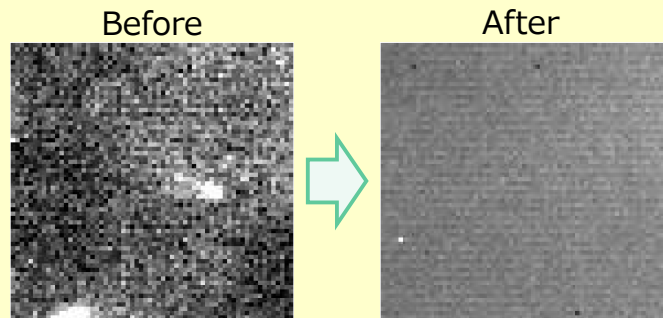
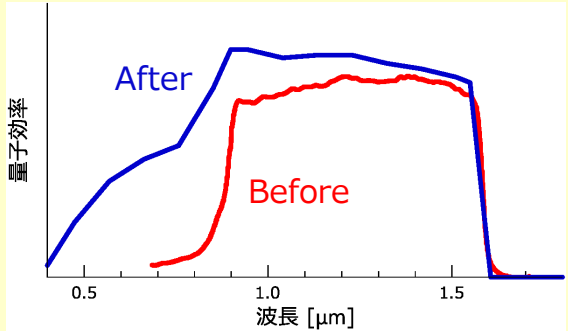
赤外線センサを搭載する検出器サブシステム全体の概念図



冷却性能評価試験システムの概念図



試作した大フォーマットセンサ
 受光部: 19.52×19.52mm



InP基板除去によって宇宙線による広がったノイズが低減 (国立天文台提供)

基板除去・ARコート前(赤線)と後(青線)におけるセンサ感度(量子効率)の比較

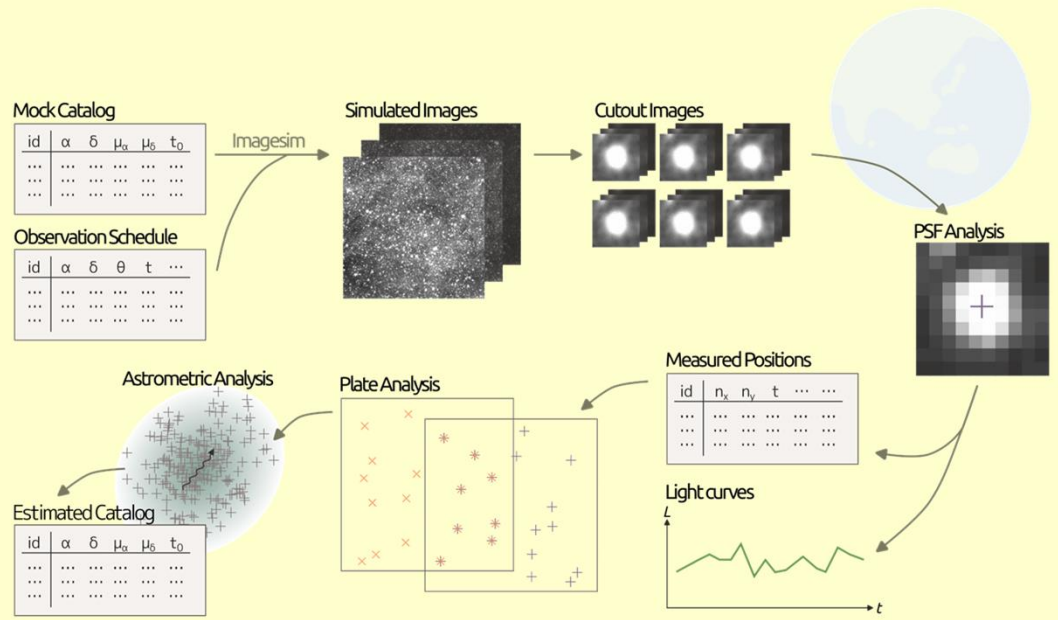
国立天文台先端技術センターの多大な協力

★ データ解析・End-to-End simulation(E2E)の概要と進捗

■ JASMINEのデータ解析 * 最高目標精度：25 μ as \rightarrow 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

■ JASMINEシミュレーションにおけるデータ解析の流れ

- 実際のデータ解析と同じ流れを実装して解析手法を検証している。
- さまざまなパラメータ（衛星システム仕様、ノイズ）でのデータ解析をシミュレーションすることで、衛星の概念検討（望遠鏡構造や光学設計の最適化、衛星の姿勢安定度要求など）へのフィードバックを行っている。



○進捗

*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）との国際協力が進行中

*ハイデルベルグ大学のJASMINE担当メンバー（5名）のうち1名が国立天文台に来訪(8/1-8/4)。会合を開催し、iterationの方法等の議論を行った。

\rightarrow Gaiaのデータ解析コード(AGIS)の手法を採用するオプションの検討を開始

★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

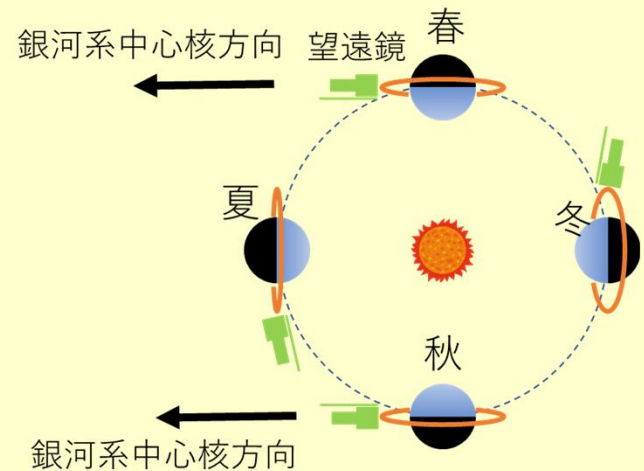


* 観測実現のための地上系の検討

- ・ 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。



4. 推進体制

JAXA宇宙科学研究所

片坐宏一(プリプロジェクト候補チーム長)、
河原創、臼井文彦、磯部直樹、**近藤依央菜**、鹿
野良平(クロアポ)、**太刀川純孝**、**峯杉賢治**

国立天文台 JASMINEプロジェクト

プロジェクト長: 郷田直輝
鹿野良平、**和田武彦**、辻本拓司、矢野太平、上田暁俊、辰巳大輔、三好真、大澤亮、鹿島伸悟、
宇都宮真、間瀬一郎、宮川浩平、**Ramos, Pau**、片坐宏一(クロアポ)

E2Eシミュレーショングループ(データ解析WG)

大澤亮(代表)、河田大介(UCL)、山田良透(京都大学)
上塚貴史、福井暁彦(東京大学)、平野照幸、大宮正士
(ABC)、逢澤正嵩(SJTU)、鈴木大介(阪大)、泉浦秀行、津久
井尊史(国立天文台)、服部公平(統数研)、立川崇之(高知工
専)、吉岡諭(東京海洋大)
+ISAS/JASMINEメンバー + NAOJ/JASMINEメンバー

国立天文台 先端技術センター

技術主幹: 鶴澤佳徳
センター長・技師長: 平林誠之、
満田和久(スペースラボ)、尾崎正伸(エレキ)
末松芳法 & 都築俊宏 & 小原直樹(光学)、大淵喜之 &
浦口史寛 &
清水莉沙 & 池之上文吾(熱構造)

国立天文台天文データセンター

小杉城治(センター長)、
高田唯史、古澤久徳、白崎裕治

位置天文サイエンスコアチーム

西山正吾(チーム長: 宮城教育大)、松永典之(東大)、川中宣太(都立大)、河田大介
(UCL)、郡 和範、矢野太平、郷田直輝(NAOJ)

系外惑星探査チーム(トランジット観測による地球型惑星探査等)

河原 創(チーム長: ISAS)、増田賢人(阪大)、小玉貴則、福井暁彦(東大)、葛原昌
行、大宮正士、小谷隆行、平野 照幸(ABC/NAOJ)、山田亨(ISAS)、他

JASMINE Consortium

WG-A(Data Analysis)、WG-B(Science Validation and Preparation)、WG-C(Outreach)
リーダー: 河田大介 (MSSL/UCL)、国内外60名の研究者(2021年4月現在)

2人の 専門員雇用(2022.4~)

ARI Heidelberg University

Michael Biermman, Wolfgang Löffler

データ解析

国際協力

University of Barcelona

C.Jordi, JM.Carrasco, X.Luri

地上局

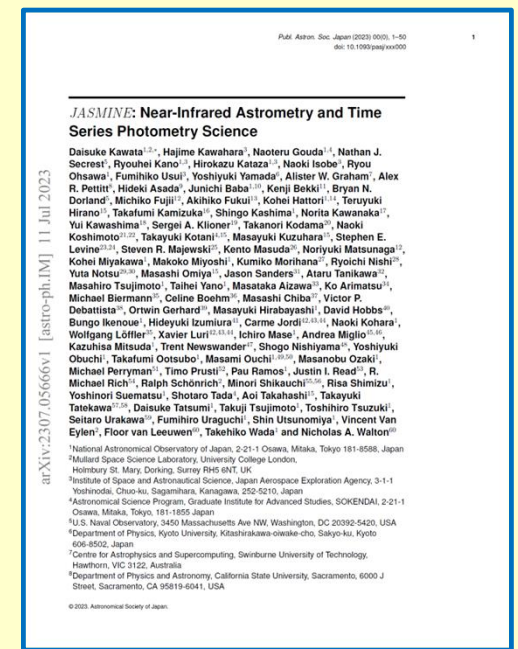
ESA



5.コミュニティとの連携

■ White Paper

- これまでの科学的検討の内容をまとめたWhite Paperを学術誌に投稿した(2023/7)。 → <https://arxiv.org/abs/2307.05666>
- 著者数：88名（うち、27名が海外研究者）



■ JASMINE Consortium Meeting 2023

- 国立天文台三鷹キャンパスにて開催した(2023/8.1~8.2)。
- ハイブリッド開催(現地40名、リモート50名)
- 口頭20件・ポスター1件の講演
- ISASニュース2023年9月号に開催報告掲載(大澤)

投稿済のWhite Paper (Kawata+)



JASMINE Consortium Meeting 2023 現地参加者の集合写真(2023/8/1)

6. 開発段階

- 現在は、概念検討中（ミッション定義段階）
- 年度内のミッション定義審査（MDR）@JAXA
宇宙研の受審を目指して準備中

よろしく御願いたします

Jasmine

