

# JASMINE(赤外線位置天文観測衛星)の 全体的進捗

*JASMINE: Japan Astrometry 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







# 1. ミッションコンセプト

## JASMINE: Japan Astrometry 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索

- 口径40cm程度 超高安定望遠鏡
- 国産赤外線検出器(InGaAs)
  - 観測波長: 1.1-1.6 $\mu\text{m}$ 、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年予定)  
(JAXA宇宙研の公募型小型計画3号機)
- 衛星重量550kg (wet) 程度
- 太陽同期軌道・高度550km以上、3年間観測

### ★JASMINEの大目的である位置天文学(アストロメトリ):

- 恒星の動きを正確 $\rightarrow$ 恒星までの距離や運動(位置天文パラメータ)を決定。観測天文学の基礎となる手段。
- 精度の高い測定 $\rightarrow$ 大気揺らぎの影響を受けない宇宙軌道上で観測。
- さまざまな種類の天体が密集している銀河中心バルジ方向の探査
  - $\rightarrow$ 塵やガスによる吸収の影響を受けにくい近赤外線での観測。
- 観測装置の安定性とデータ解析の工夫により超高精度を達成
  - $\rightarrow$ 3年間の軌道上運用によって10万個におよぶ恒星を観測。最高精度25マイクロ秒角の位置天文パラメータを決定。
  - $\rightarrow$ 天の川銀河が誕生以降、どのような変化を遂げて現在の姿に至ったか、その中で太陽系がどのような経路を辿ってきたか、という人類誕生にも関わる謎を紐解く手がかりを得る。

### ★JASMINEのもう1つの大目的: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探査を行う。

- $\rightarrow$ 生命が存在する可能性がある惑星候補を見つける。

Gaia



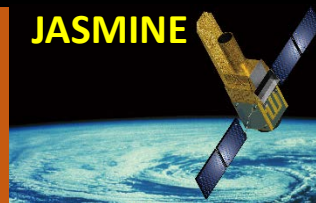
- ・太陽系近傍
- ・広域のハロー星
- ・バルジ/バー構造の上層部
- ・銀河円盤上層部

相補的

Gaiaでは測定困難な領域あり!

- ・中心核バルジ
- ・中心近くの銀河円盤
- ・星間ガスに覆われた星形成領域

JASMINE



- ・全天サーベイ
- ・3回目公開(2020.12)の中間データでは、約15億個の星の位置天文情報。年周視差精度は明るい星で20~30μas

P-025(矢野)の講演参照

JASMINEのユニーク性!

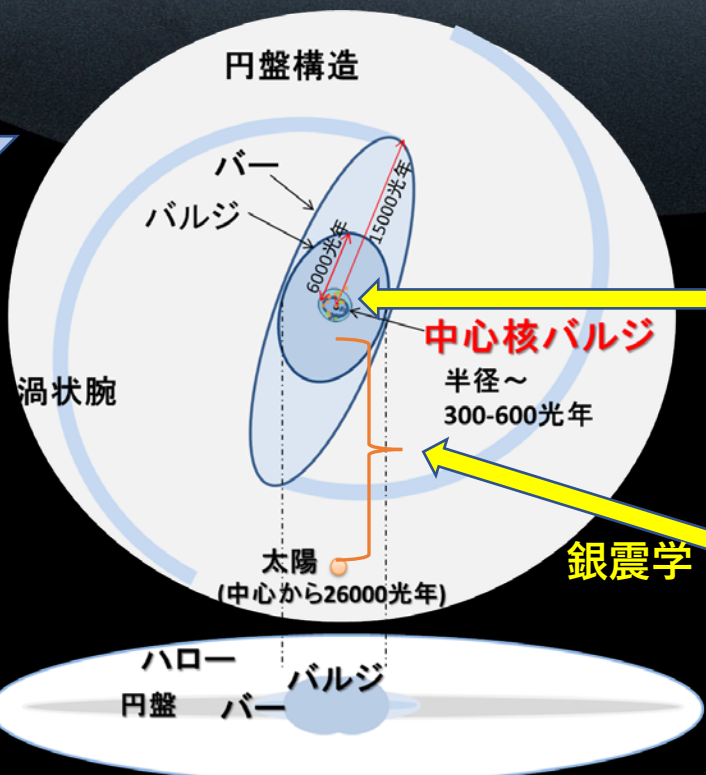
画期的! 天の川銀河研究の大革命が起きている!!

中心核バルジは“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。

1. ハローの構造・形成史(銀河考古学)
2. 太陽系近傍や反中心方向の銀河円盤の速度構造
3. バー構造のサイズ・回転速度

銀河中心考古学

1. 中心核バルジの構造(天の川銀河誕生時の構造の痕跡?)
2. 中心核バルジ内の円盤構造の形成時期  
→バー構造の形成時期を決定  
→太陽系が銀河内部から移動を開始する時期  
→地球誕生や人類の誕生にも影響
3. 超巨大ブラックホールの質量成長
4. 内部円盤の振動



銀震学

中心方向以外：低質量星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星探査

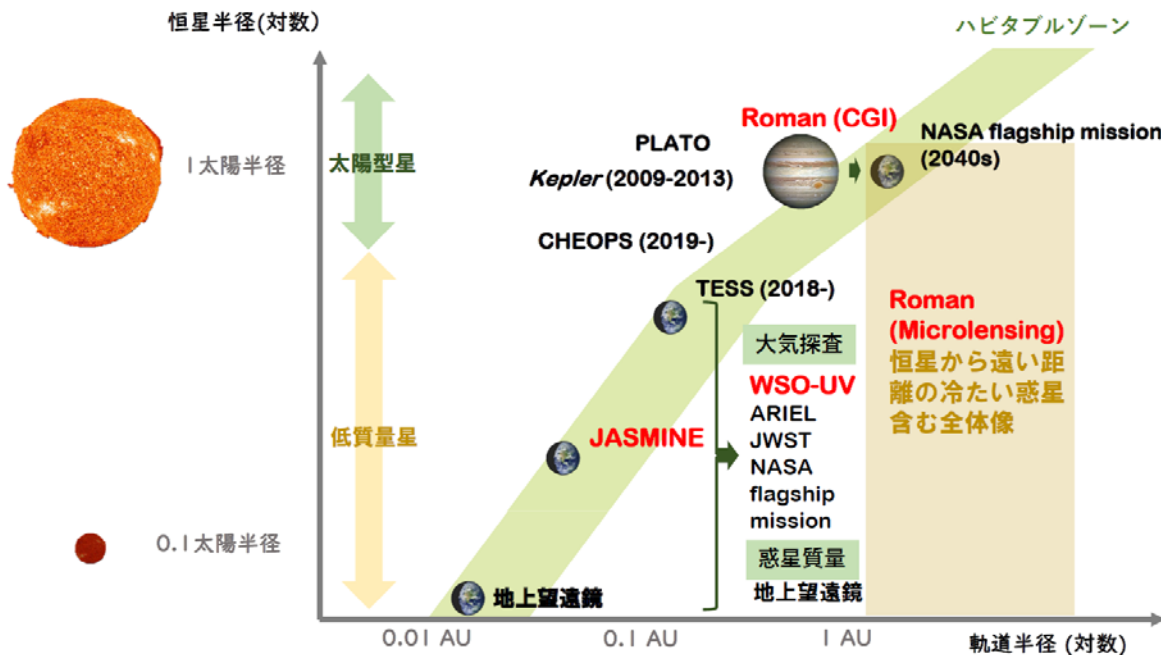
高頻度長時間モニター可能



# 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査

P-028(河原)の講演参照

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の発見の可能性あり！**日本で衛星による系外惑星探査観測は初めて！**(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)



左図は恒星の大きさと恒星-惑星間距離の関係。地球型惑星がその表面に海洋を保持できる領域(ハビタブルゾーン)を緑で示す。JASMINEで狙うのは、緑の枠で囲った部分で、太陽より小さい恒星(晩期型星)の周りの地球型惑星である。この領域は、系外惑星専用衛星TESS/CHEOPSには、恒星が暗すぎる。一方、シグナル(トランジット深さ)は宇宙からの探査に利がある領域である。トランジット惑星は見つければその後の**生命探査が可能**である。

図は河原氏(東大)作成

- \* JASMINEでは、ハビタブルゾーン内の**地球半径**のトランジット惑星を**数個発見**出来ると期待
- \* JASMINE:中口径、近赤外線→ターゲットとする3000K程度の恒星に対しては、**TESSの20-30倍の集光力**。  
TESSでは暗すぎ、地上観測では小さすぎるシグナルのターゲットを狙うのに最適。SPECULLOS等の地上観測ではもっと低質量の晩期型星がターゲット。
- \* TESS, SPECULOOS, PLATO(ESA)に加えて、さらにハビタブルゾーンにある地球型惑星の発見個数を増やすことも重要→水や海洋、酸素等のバイオマーカーが検出される可能性があるサンプル数の拡大へ貢献
- \* TESS・SPECULOOSで見つけた内惑星をもつ系→JASMINEのよいターゲット。相補的・協力的関係 (c.f. Trappist-1)

# 赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」 世界的な位置付け（他のプロジェクトとの連携）



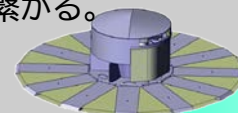
## 位置天文観測

- 銀河系サーベイデータが出揃う2020年代に、位置天文観測による銀河中心領域の基礎データを提供する。
- 多波長での分光観測等を行う地上観測とは相補的な関係にある。一方、スペース位置天文として競合するミッションは存在せず、JASMINEのサイエンス価値は高く評価されている。JASMINEの成果はESAの将来計画であるGaiaNIRへと繋がる。



Gaia: 2013-25(?)

Gaia Final Full Data Release: 2028(?)



GaiaNIR: 2045(?)

地上観測とのシナジー  
(可視光・赤外線)



PRIME+SAND

ULTIMATE-Subaru 2026-

Subaru/PFS: 2022-

SDSS-V Milky Way Mapper: 2020-25

VLT/MOONS: 2020-

## 系外惑星探査

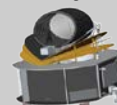


JWST: 2021-2031(?)

ARIEL: 2028-2032(?)



WSO-UV: 2025(?) - ???



- JASMINEで発見した地球型惑星に対して宇宙望遠鏡 (JWST、WSO-UV、ARIEL)による大気観測を実施予定  
⇒ JWST等が稼働中の打上げ、観測が必須。

# ■ JASMINEのアウトプット

## (プロジェクトチームとしてのアウトプット目標)

1. 銀河中心バルジ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、世界の研究者へ恒久的に公開する。 **\* 世界同時公開**
2. 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データを提供する。

## 1. 銀河系中心のプロジェクトサーベイ(春・秋期)カタログ

### 銀河中心核バルジ方向の領域サーベイ 春と秋に観測

- \*領域1 => 中心核バルジ全体(半径~100pc程度に相当)
- \*領域2 => 中心核ディスクに沿った一部 **\* 変更を検討中**

### 9等級<Hw(1.1~1.6μm)<14.5等級の星(TBD)をダウンロード

$$*Hw \sim 0.78J + 0.22H - 0.03(J-H)^2$$

### 約10万個の星を地上にダウンロード

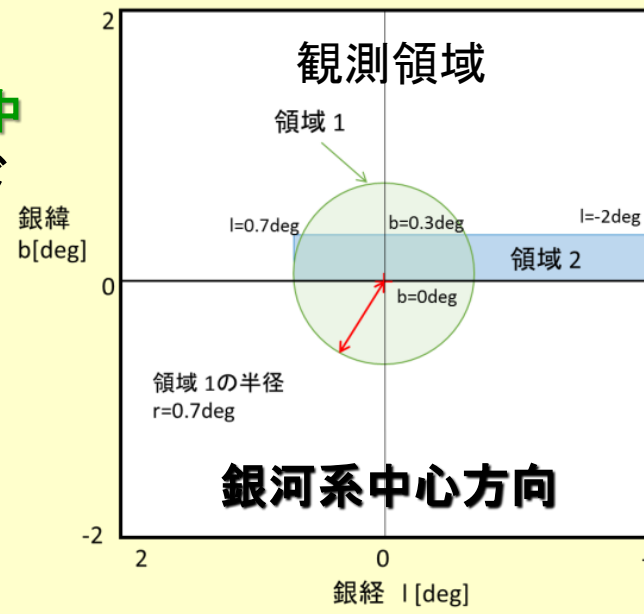
### \* 何十回かに1回の割合で全画面もダウンロード(見込み)

### 年周視差精度: 25マイクロ秒角~125マイクロ秒角

(25μ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)



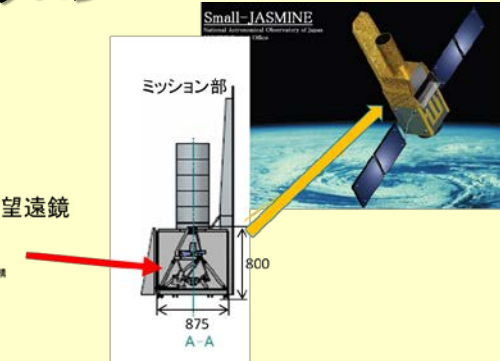
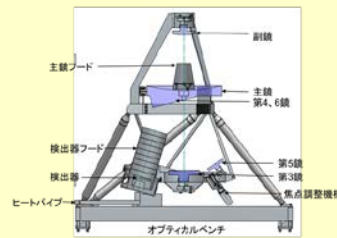
## 2. 銀河系中心以外の特定天体観測(夏・冬期)

○ 中期M型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星探査(測光データの時系列)

○ その他(JASMINEコンソーシアムで議論)

# ○JASMINEの仕様案(今までのベースライン)

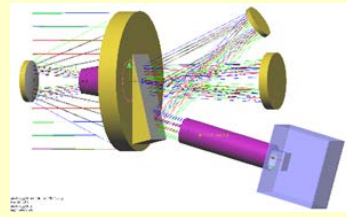
- 主鏡口径: 30cm、焦点距離: 3.9m
- 視野面積: 0.6度 × 0.6度
- アストロメトリ用検出器: HgCdTe (4k × 4k) 1個  
**H4RG (Teledyne社)**
- アストロメトリ用観測波長: 1.1~1.7ミクロン
- 衛星重量: 約550kg (RCS込み)



# → ベースラインの変更を

検討中 → **P-030(片坐)・P-026(鹿島)の講演参照**

国産赤外線センサーの宇宙用化開発へ切り替え → **P-031(鹿野)の講演参照**

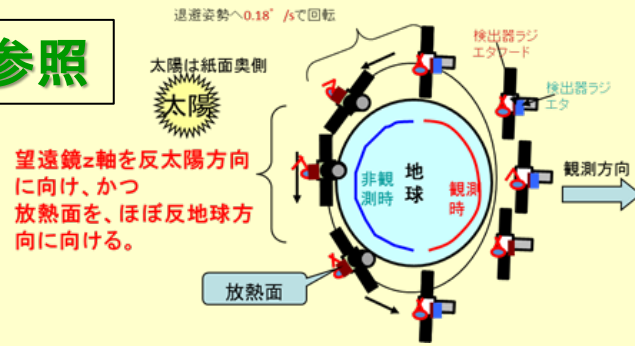
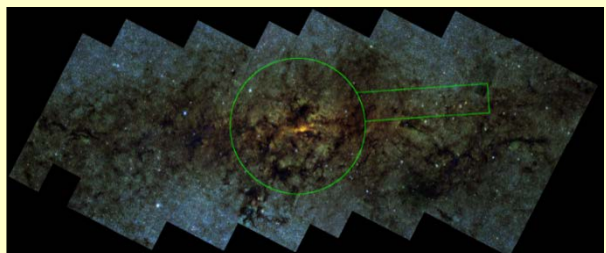


- 観測データは、天体の天球面上での位置および測光の時系列データ、およびそれを解析した、天体毎の年周視差、固有運動なども提供。
- 軌道: 太陽同期軌道 (高度約550km以上)(tentative)

イプシロンSロケットでは打上能力がアップされるため、高度は再検討中

## P-029(磯部)の講演参照

- 観測期間: 3年間程度
- 時系列データは、約50分間の連続撮像、その後約50分間の非観測時間、**銀河中心方向の観測領域**、そして再度約50分間の連続撮像データ。観測の総時間までそれが繰り返される。



J, H, K tricolor composite image of the Galactic center area (imaged by SIRIUS on the Nagoya University IRSF 1.4m telescope; Nishiyama et al., 2004 Spring Astronomical Society Press Release). The survey area of Small-JASMINE is written with the green line.



# 全体の進捗状況



# \*地上用に開発された国産赤外線検出器の宇宙用化開発

P-031(鹿野)の  
講演参照

- 地上用に開発された天文観測に適する高性能な  
**国産赤外線検出器(InGaAs)→宇宙用化**  
→JASMINEにも搭載する方針に変更。

\*この検出器のスペック→JASMINEへの搭載可能性を確認  
(望遠鏡の一部の仕様は変更)

なお、この検出器開発はJASMINEに限らず今後の宇宙科学ミッションの  
共通の技術領域の一環として宇宙研における技術開発の中で位置づけ、  
開発を進めている。

- センサチップ開発、エレキ開発、熱構造検討に関して、JAXAを中心として、国立天文台JASMINEプロジェクト&先端技術センターが協力して各々の担当メーカーと共に開発を進めている。
- 検出器試作品に対して**放射線照射試験を段階的に実施**。  
(i)Co<sup>60</sup> 照射試験@東工大(2020年9月)、(ii)陽子照射試験@高崎量子応用研究所(2021年6月)

# ★進捗状況(続き)

P-030(片坐)・P-026(鹿島)  
の講演参照

## \*衛星システムの成立性検討:

- 国産検出器の特性を最大限に活かす  
→光学系要求事項を含む**衛星検討ベースライン案を変更**
- 衛星システムの実現可能性、光学系の実現可能性の見通しの**feasibility study**を複数の衛星メーカー候補と実施。

**最大の課題はリスク削減を行い、コスト削減の目処をつけること。**

**\* 目処はつきはじめてきたが、今後、さらに精度をあげていく**

## \*地上系の検討:

地上系:衛星の運用(計画立案・コマンド作成を含む)、データ受信・利用・アーカイブ等に関連する地上設備・インフラ(ソフトウェアを含む)

JAXA宇宙研のC-SODA(科学衛星運用・データ利用ユニット)が、JASMINEに対して対応・調整をして頂くことになり、検討が開始。

# ★進捗状況(続き)

## \*データ解析の検討:

P-024(山田)・P-027(上塚)の講演参照

End-to-End simulation:e2eシミュレーショングループの活動  
(JASMINE Consortiumのデータ解析WG)

- ・データ解析ソフトウェアの実装を進め、想定されるノイズ源を反映させた **End-to-End simulationを行うための開発**を若手を中心とした十数名程度のメンバーで精力的に行っている。
- ・Heidelberg大学との国際協力の進展
  - \*astrometryのデータ解析に関して定期的な会合
  - \*4日間連続のオンラインワークショップ開催(2021年10月)
  - \*JASMINEの検討のための旅費をHeidelberg大学で獲得。
  - \*Heidelberg大学から、ドイツ宇宙機関(DLR)へJASMINEのデータ解析のための専従研究員2名の雇用経費を申請。→**予算申請が採択された！！**
- ・Barcelona大学との国際協力の開始
  - \*連携して測光精度評価の検討を進めていくことになった。



# 推進体制

## JAXA宇宙科学研究所 准教授公募選考中

片坐宏一(プリプロジェクト候補チーム長)  
臼井文彦、磯部直樹、和田武彦(検出器開発)

## 国立天文台 JASMINEプロジェクト

プロジェクト長:郷田直輝 **助教公募選考中**  
鹿野良平、上田暁俊、小宮山裕(併任)、辰巳大輔、辻本拓司、馬場淳一、三好真、矢野太平、鹿島伸悟、宇都宮真、間瀬一郎

## E2Eシミュレーショングループ(データ解析WG)

グループ長:山田良透(京都大学)  
河原創、上塚貴史、大澤亮、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)

## 国立天文台 先端技術センター

センター長:鵜澤佳徳  
技師長:平林誠之、満田和久(技術主幹)、末松芳法(光学)、中屋秀彦(検出器)、大淵喜之 & 浦口史寛 & 清水 莉沙(熱構造)

## 系外惑星探査プログラム 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:東大)、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 研究員雇用 (2022.春~)

ESA

## 国際協力

### ARI Heidelberg University

Michael Biermman, Wolfgang Löffler

### University of Barcelona

C.Jordi, JM.Carrasco, X.Luri

### U.S. Naval Observatory

Bryan Dorland, Nathan Secrest



# ★JASMINE Consortium (JC)の活動

(代表:河田(UCL): 60名程度(2021.4現在)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

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 Validation 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

\* 公開のJC meetingを毎年度開催。Science Workshopも兼ねる。  
今年度は2021年12月6日～8日に開催した。

\* ULTIMATE-Subaruや国内プロジェクトとのシナジーの検討 <sup>13</sup>

よろしく御願いたします

Jasmine

