

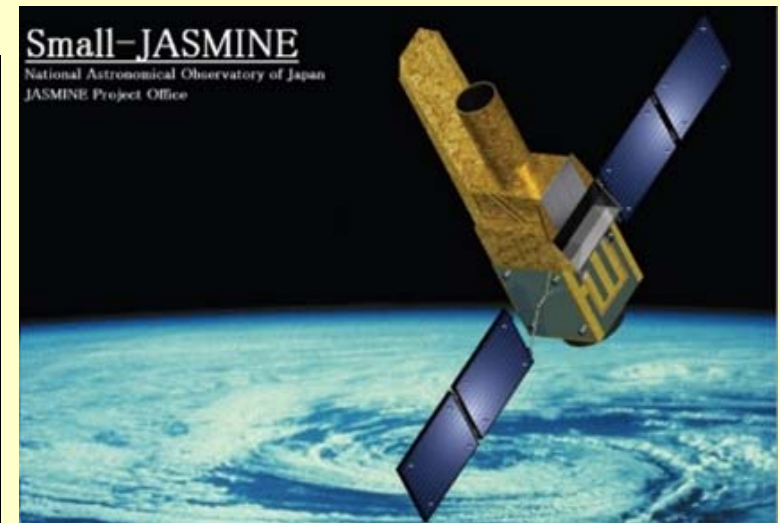
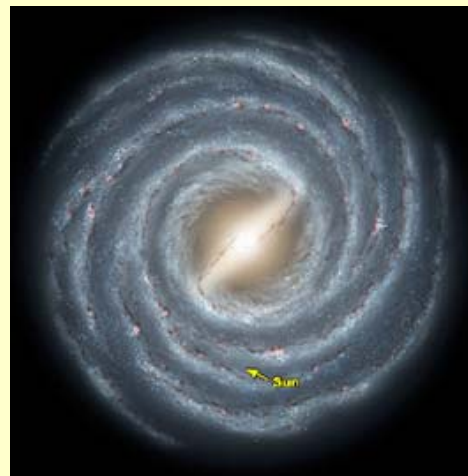
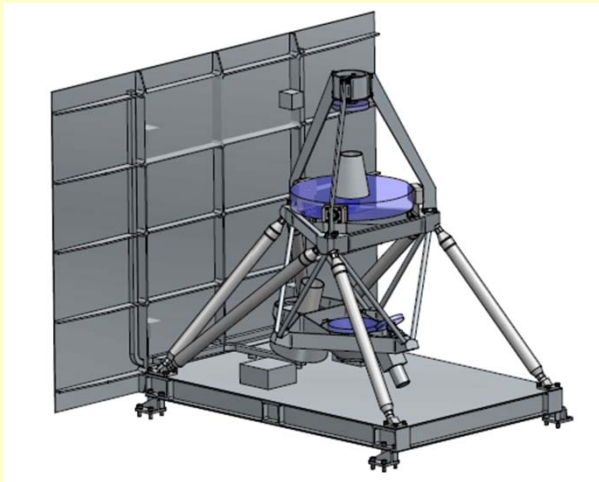


# 小型JASMINE計画

(JASMINE: 赤外線位置天文観測衛星)

---Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration---

国立天文台JASMINE検討室 郷田直輝  
他 JASMINE-WG



# 1. 小型JASMINE計画の概要

\* 小型JASMINE計画は、JAXA宇宙科学研究所の**公募型小型計画宇宙科学ミッション**に応募予定。

\* **Hwバンド**(1.1~1.7  $\mu\text{m}$ )の波長域における撮像観測を**高頻度**(約100分に1回)で行い、その観測で得た**天体の天球面上での位置の時間変動(時系列データ)**とそこから導かれる**年周視差**と**固有運動**等の位置天文パラメータの情報等をカタログとして公開。

\* 星によって、らせん運動からの“ずれ”がある ➡ 惑星系、連星系、重力レンズ効果など

## 位置天文観測の大革命時代の幕開

Gaiaは革命的：**質**( $10\mu$ 秒角クラスの位置決定精度)、**量**(約10億個の星)とも画期的

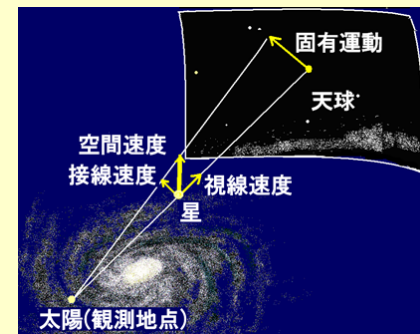
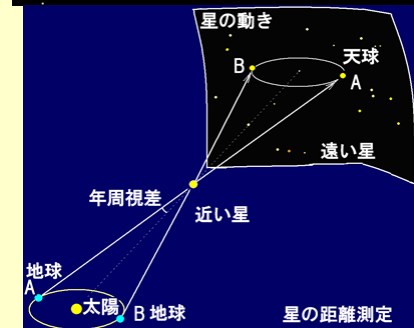
今後は、画期的な位置天文観測データ(3次元的空间位置、運動速度等)を用いた天の川銀河(銀河系)や銀河系内天体の研究が益々盛んに！

★Gaiaでは測定困難なパートを補完する観測が強く期待されている。

=> **天の川銀河(銀河系)の中心領域**

\*可視光観測のGaiaでは、高精度で多数の星を観測することは困難

↓  
**小型JASMINE**



# 小型JASMINE

大目的 (宇宙における巨大BHの存在解明)

中目的 (銀河系中心の巨大BHの形成解明)

目的(i): 巨大BHの合体形成説の検証

目的(ii): 巨大BHへのガス供給機構

目標(i): 中間質量BHの  
中心領域への落ち込みによる  
力学的摩擦効果

目標(ii): 中心核バルジの  
重力場の解析

目標(iii): 位置天文観測  
情報のカタログ作成

成功基準(i)  
摩擦効果の是非について  
99.7%以上の信頼度での  
判断

成功基準(ii)  
内部棒状構造の存在の是非  
について運動学的に  
99.7%以上の信頼度で判断

成功基準(iii)  
時系列データ等のカタログ  
の作成と世界的な公開

要求(i)  
観測領域1の指定と観測  
精度、観測個数の指定

要求(ii)  
観測領域2の指定と観測  
精度観測個数の指定

要求(iii)  
カタログの作成と  
公開

天体の天球面上での位置の時間変動を近赤外線帯域で測定する。

# 大目的

## 宇宙に巨大ブラックホールはなぜ存在するのか？



光赤天連の2020年代将来計画検討報告書(2016年発行予定)

\* 2020年代に解明すべき3大重要課題

### 1. バリオン宇宙の多様性

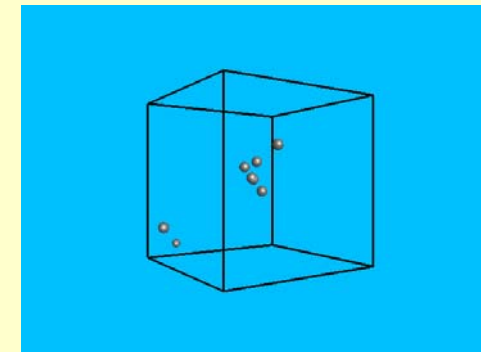
(宇宙初期から現在にいたる天体と物質の形成・進化・相互作用)

2. 惑星系形成過程解明、太陽系外惑星の性質解明
3. 宇宙の加速膨張と暗黒エネルギー/重力修正理論

### 1の直下に入る、重要な要素

- \* 巨大BHの形成は、半世紀に及ぶ天文学の大問題
- \* 巨大BHとバルジの共進化の謎

★ 中間質量BHの合体か、ガスの降着か？



# 小型JASMINE

大目的 (宇宙における巨大BHの存在解明)

中目的 (銀河系中心の巨大BHの形成解明)

目的(i): 巨大BHの合体形成説の検証

目的(ii): 巨大BHへのガス供給機構

目標(i): 中間質量BHの  
中心領域への落ち込みによる  
力学的摩擦効果

目標(ii): 中心核バルジの  
重力場の解析

目標(iii): 位置天文観測  
情報のカタログ作成

成功基準(i)  
摩擦効果の是非について  
99.7%以上の信頼度での  
判断

成功基準(ii)  
内部棒状構造の存在の是非  
について運動学的に  
99.7%以上の信頼度で判断

成功基準(iii)  
時系列データ等のカタログ  
の作成と世界的な公開

要求(i)  
観測領域1の指定と観測  
精度、観測個数の指定

要求(ii)  
観測領域2の指定と観測  
精度観測個数の指定

要求(iii)  
カタログの作成と  
公開

天体の天球面上での位置の時間変動を近赤外線帯域で測定する。

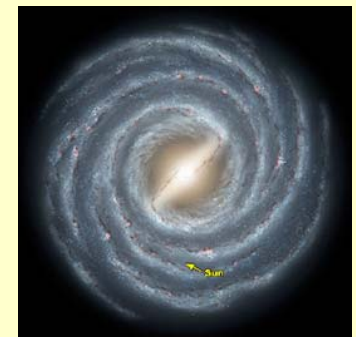
# 中目的

巨大ブラックホールと銀河バルジの共進化の解明を目指して、  
天の川銀河(銀河系)の中心に潜む巨大ブラックホールの  
生い立ち(形成)を星の運動(動力学)を用いて知る。

- 我々が住む天の川銀河(銀河系)→中心に巨大ブラックホールが存在。
- 銀河系もブラックホールーバルジ関係(巨大BHの質量はバルジの質量の約1/1000)をほぼ満たすことが知られている。
- 銀河系の巨大ブラックホールは、他の銀河の巨大ブラックホールに比べてはるかに近い。  
→詳細かつ精密な観測が可能である。  
巨大ブラックホール付近の星の軌道や動力学情報を詳細かつ精密に測定することが可能。  
\* 他の銀河では、遠すぎて巨大ブラックホール付近の星の軌道や動力学の情報を詳細かつ精密に測定することは近未来では不可能
- 銀河系は、巨大ブラックホールの形成を調べるために他の銀河では適応できない研究手法を用いることが出来て非常に良い”実験場”となる。

## 目的

- 銀河形成標準理論の検証につながる銀河系での  
巨大ブラックホールの合体形成の観測的検証
- 巨大ブラックホールへのガス供給機構解明につながる  
銀河系中心核バルジの重力場の解析





# 小型JASMINEの 主たる科学目的

大目的 (宇宙における巨大BHの存在解明)

中目的 (銀河系中心の巨大BHの形成解明)

目的(i): 巨大BHの合体形成説の検証

目的(ii): 巨大BHへのガス供給機構

目標(i): 中間質量BHの  
中心領域への落ち込みによる  
力学的摩擦効果

目標(ii): 中心核バルジの  
重力場の解析

目標(iii): 位置天文観測  
情報のカタログ作成

成功基準(i)  
摩擦効果の是非について  
99.7%以上の信頼度での  
判断

成功基準(ii)  
内部棒状構造の存在の是非  
について運動学的に  
99.7%以上の信頼度で判断

成功基準(iii)  
時系列データ等のカタログ  
の作成と世界的な公開

要求(i)  
観測領域1の指定と観測  
精度、観測個数の指定

要求(ii)  
観測領域2の指定と観測  
精度観測個数の指定

要求(iii)  
カタログの作成と  
公開

天体の天球面上での位置の時間変動を近赤外線帯域で測定する。

## 科学目標(ii) $\Rightarrow$ ミッション要求(ii) 合体説の検証

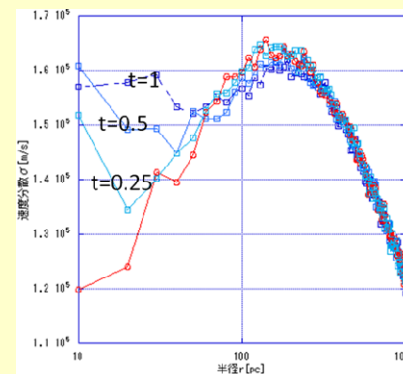
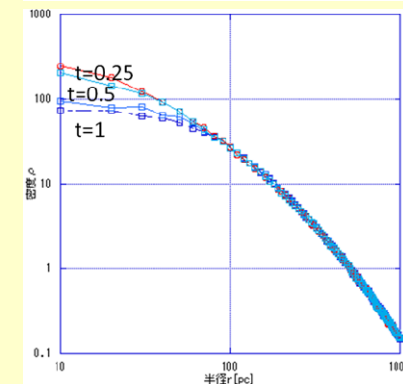
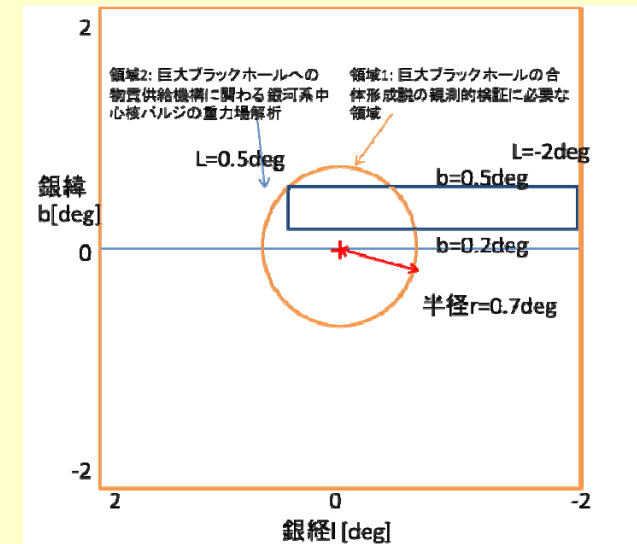
★中間質量(数十万太陽質量)のBHが、  
中心領域(中心から100pc程度)へ  
落ち込むと、**周りの星へ力学的摩擦の効果**を  
及ぼす。

★周りの星の密度分布や速度分散の分布は、  
BHの質量分布や個数に依らず、  
時間が経つと、**ある特徴ある関数形に  
自己相似的になっていく。**

(Tanikawa & Umemura 2014)

\* 解析的にも示されている。

(Nakano & Maikino 1999)





## ★スケーリング則

力学的摩擦の効果が効く  
時間尺度は、BHの質量に  
逆比例する。

## ★十分に効果が効く

(100pc程度まで普遍的な  
関数形になっている)

時間尺度

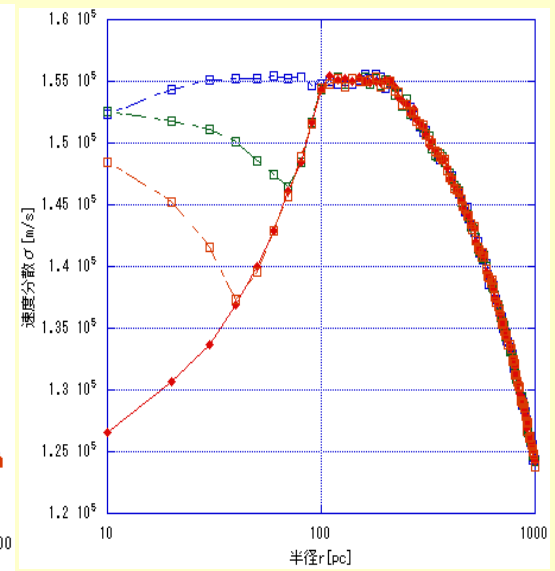
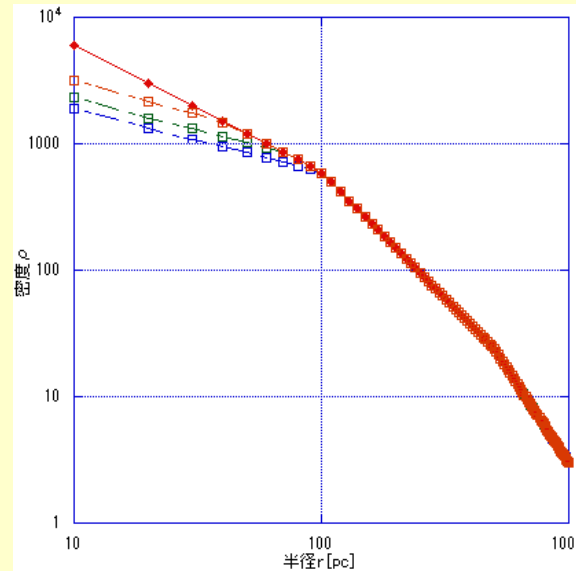
例1: 80万太陽質量のBHが5個  $\Rightarrow$  15億年

例2: 40万太陽質量のBHが10個  $\Rightarrow$  30億年

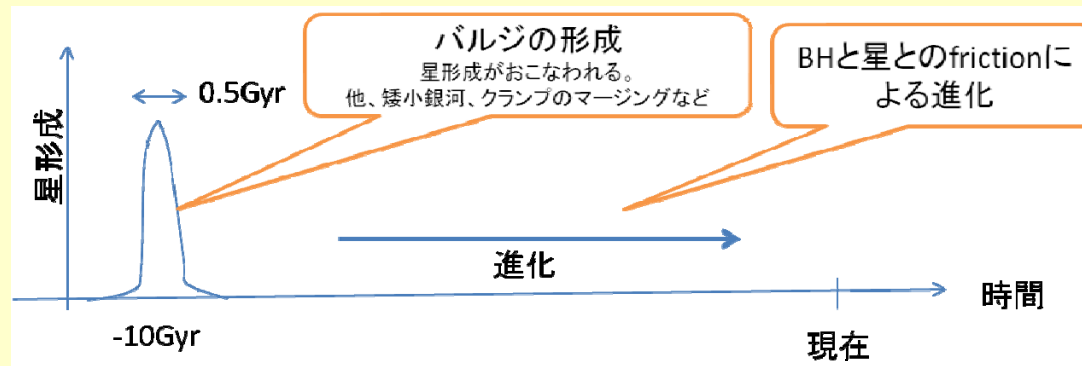
例3: 20万太陽質量のBHが20個  $\Rightarrow$  60億年

例4: 13万太陽質量のBHが30個  $\Rightarrow$  95億年

例5: 5万太陽質量のBHが40個 + 25万太陽質量のBHが8個  $\rightarrow$  95億年



かなりのBHが合体していると思われる。



# ★判断の方法と信頼度の評価

## ○位相分布関数による判断

$$f(r, \sigma)$$

- \* 真の解を与えた模擬カタログから求めた位相分布関数といくつかのモデルの位相分布関数と比較して、真の解のモデルを選択する確率を求める。

### (i) 疑似カタログ

- \* 真の解として、モデルを決め、その位相分布関数を構築し、そこからサンプルを生成。
- \* 観測誤差、観測個数を変数
- \* ダストによる個数の減少効果
- \* ディスク成分によるコンタミ効果

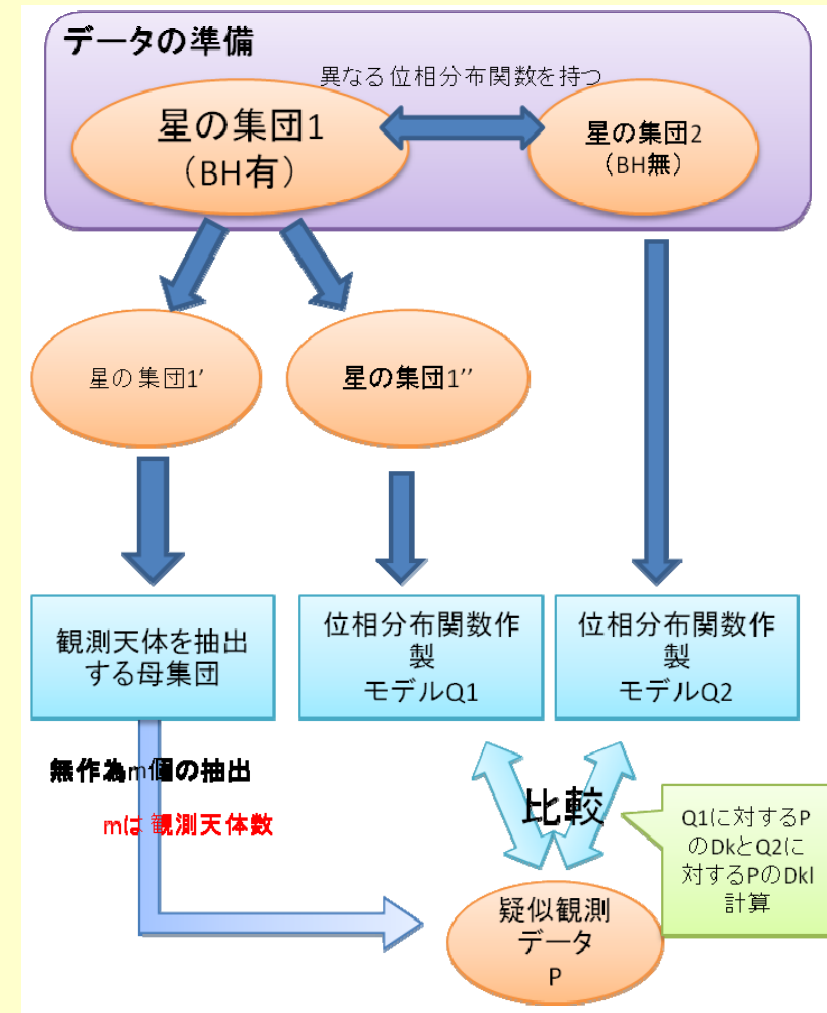
### (ii) モデルの位相分布関数を構築

### (iii) 位相分布関数の比較によるモデルの選択方法

カルバック・ライブラー情報量を用いる

### (iv) 正答する確率を求める

- (v) **信頼度** (正答する確率) が、99.7%以上 (フルサクセスレベル) になる場合の観測精度、観測個数を求める => ミッション要求



# 判定の道具

## カルバック・ライブラー情報量

- 2つの確率分布間の距離を表す尺度( $f_{\text{model},\theta}$ に対する $f_{\text{obs}}$ の距離)

(注意: 距離の公理は見たさない。)

$$D_{KL}(f_{\text{obs}} \mid f_{\text{model},\theta}) = \sum_i f_{\text{obs}}(i) \log \frac{f_{\text{obs}}(i)}{f_{\text{model},\theta}(i)}$$

$f_{\text{obs}}$ : データ、観測値、真の確率分布など

$f_{\text{model},\theta}$ : 理論値、モデル値など

$i$ : 考えている座標空間をメッシュにきった素片の番号

- 観測による位相分布関数 $f_{\text{obs}}$ がモデルの位相分布関数 $f_{\text{model}}$ に対してどのくらい違っているかを表す尺度になっている。  
一致すると0であり、**違いの程度に応じて正の値をとる。**

対立するモデルに対し、上述の情報量の値の小さい方がふさわしいモデルと考える。

# ★信頼度の計算

○真の解: 力学的摩擦の効果が十分に効いている場合の位相分布関数(“普遍的”関数)

## ○ 模擬カタログ

- \* 年周視差の誤差:  $10 \sim 80 \mu$ 秒角
- \* 固有運動の誤差:  $50 \sim 3200 \mu$ 秒角/年
- ( \* 視線速度の誤差:  $2 \text{ km/s}$  )
- \* 観測個数:  $2000 \sim 5000$ 個
- \* 観測領域: 中心から半径 $0.7$ 度の円内

## ○比較モデル

モデル1: 真の解(力学的摩擦の効果が十分に効いている場合の位相分布関数)

モデル2: 力学的摩擦の効果が全く効いていない場合(background):

Tanikawa&Umemura(2014)のシミュレーション結果を用いる

(密度分布に関して、摩擦効果が聞いているときとの差がつきにくく厳しめ)

## ○信頼度

$X = KL(\text{観測とモデル2}) - KL(\text{観測とモデル1}) > 0$ となれば、正解!

$X > 0$ となる確率(信頼度)を多数回のサンプルを用いた結果により計算。

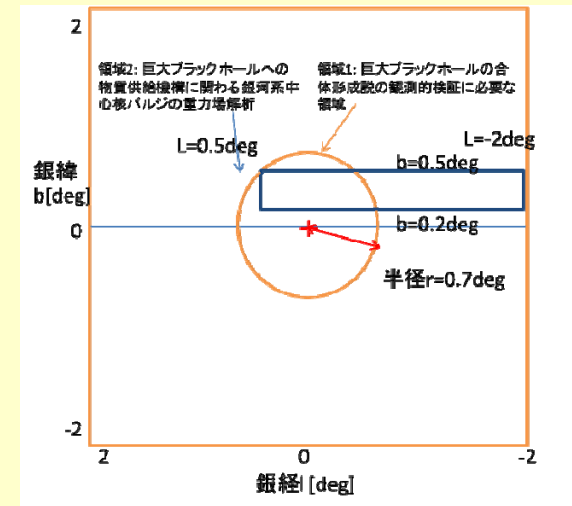
信頼度: 99.7%以上

観測個数: 3500個以上

年周視差の誤差:  
 $20 \mu$ 秒角程度以下

固有運動の誤差:  
 $200 \mu$ 秒角/年程度以下

ミッション要求



# 小型JASMINEの 主たる科学目的

大目的 (宇宙における巨大BHの存在解明)

中目的 (銀河系中心の巨大BHの形成解明)

目的(i): 巨大BHの合体形成説の検証

目的(ii): 巨大BHへのガス供給機構

目標(i): 中間質量BHの  
中心領域への落ち込みによる  
力学的摩擦効果

目標(ii): 中心核バルジの  
重力場の解析

目標(iii): 位置天文観測  
情報のカタログ作成

成功基準(i)  
摩擦効果の是非について  
99.7%以上の信頼度での  
判断

成功基準(ii)  
内部棒状構造の存在の是非  
について運動学的に  
99.7%以上の信頼度で判断

成功基準(iii)  
時系列データ等のカタログ  
の作成と世界的な公開

要求(i)  
観測領域1の指定と観測  
精度、観測個数の指定

要求(ii)  
観測領域2の指定と観測  
精度観測個数の指定

要求(iii)  
カタログの作成と  
公開

天体の天球面上での位置の時間変動を近赤外線帯域で測定する。

## 科学目標(ii)=>ミッション要求(ii)

### 銀河系中心核バルジの重力場解析

- \* 中心へのガスの供給機構(角運動量損失)の解明
- \* 中心付近での爆発現象、爆発的星形成、巨大星団の形成にとっても重要。

観測データが必要。系外銀河の巨大BHの情報を集めるとともに、詳細かつ精密なデータも必要。

➡ 一番、身近な銀河の中心と巨大BH

➡ 天の川銀河の中心の観測！

◎ガス供給機構の可能性の1つ:バルジでの棒状(バー)構造！

回転する棒状構造 ➡ ガスの角運動量、エネルギー損失。

\* **バーの多重構造**が重要な役割を果たすかも！？:

バーの多重構造:

外部バルジ(半径 $\sim 5\text{kpc}$ 、 $\Omega \sim 50\text{km/s/kpc}$ ): ディスク=>CMZへのガス移動

内部バルジ(半径 $\sim 500\text{pc}$ 、 $\Omega > \sim 200\text{km/s/kpc}$  (安定に存在する条件)): CMZ から20pc以内へのガス移動

\* 内部バーが存在！？ もし、内部バーが存在した場合、そのバーの重力ポテンシャルの特徴は？

星の軌道分布(位相空間分布)=>重力場モデルを制限

パターンが回転角速度 $\Omega$ で回転するバーポテンシャル

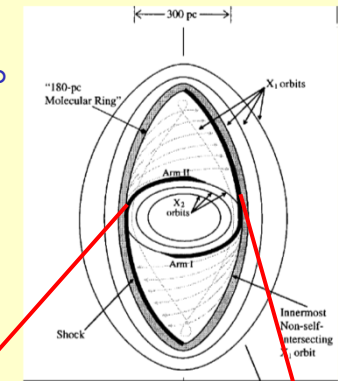
\* 銀河系モデル: 3次元バーポテンシャル (Ferresモデル)+バルジ (指数関数型モデル)

+ディスク (Sofue model)+ダークハロー (NFW)+巨大BH

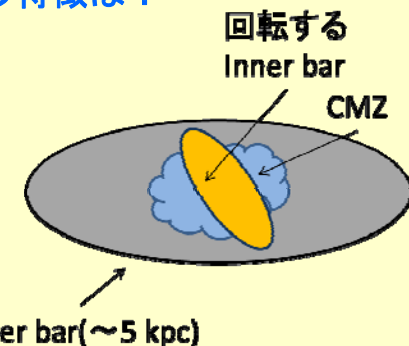
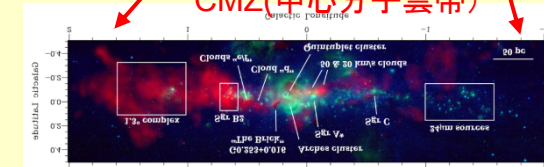
◎内部バーの存在を $\Omega$ が外部バーのそれとは違うことを用いて判断

If  $\Omega > \sim 200\text{km/s/kpc}$ (tentative) ➡ 99.7%以上の信頼度で内部バーは存在<sup>4</sup>

外部バー領域



CMZ(中心分子雲帯)



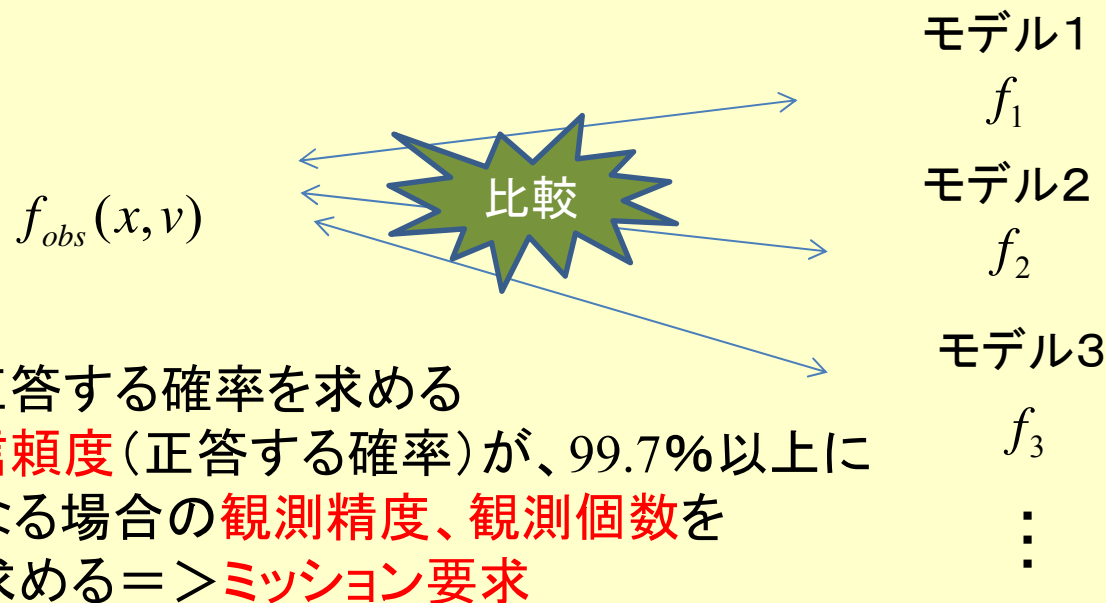
回転する  
Inner bar

CMZ

Outer bar( $\sim 5\text{kpc}$ )

# 信頼度の評価方法

1. 回転曲線や視線速度分布等に関する既存の観測結果を最も良く反映する  
**銀河系モデル**（内部バーのパターンの**回転角速度**や**軸比**などが異なる）  
に対して、モデルの密度分布や観測された速度分布と自己無矛盾になるように、  
そのモデルでの星の位相分布関数（理論モデル）を構築する  
（→**M2M法**で構築）  $f(E_J, V_C)$
2. 観測誤差を含めた各理論モデルと観測で得られた位相分布関  
数を**KL情報量**を用いて比較してどのモデルが最も良いか判別する





## ミッション要求

銀河系中心核バルジ付近の下記で示す領域方向に対して、  
天体の天球面上での位置の時間変動を近赤外線帯域で、測定する。

### 要求(i)

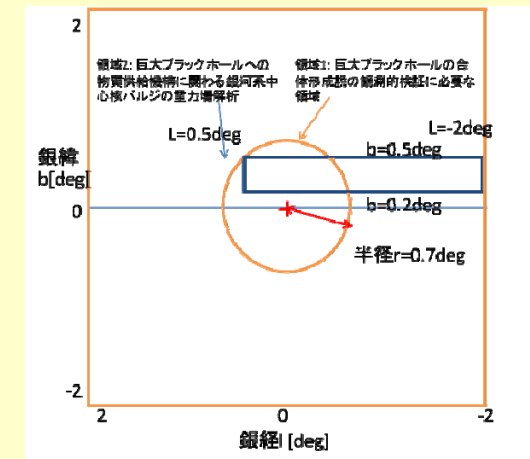
銀河系中心を中心とする半径0.7度程度の円の領域(図中の橙色の円内)  
(以降、領域1とする)を観測する。その際、星の年周視差の誤差が、  
20 $\mu$ as程度以下、固有運動の誤差が、200 $\mu$ as/yr程度以下で測定できる、  
領域1内にある銀河系バルジに属する星の個数が、3500個程度以上。

### 要求(ii)

銀経-2度~0.5度、銀緯0.2度~0.5度の範囲の領域  
(図中で青色の長方形内))(以後、領域2とする)を観測する。  
その際、星の年周視差の誤差が、20 $\mu$ as程度以下、  
固有運動の誤差が、150 $\mu$ as/yr程度以下で測定できる、  
領域2内にある銀河系バルジに属する星の個数が、  
2000個程度以上。

### 要求(iii)

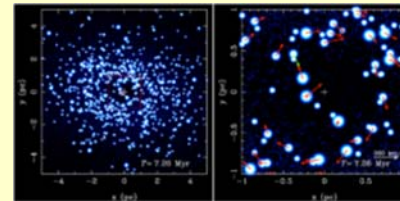
特定領域において測定された星に対して、星の天球面上での位置変動の  
時系列データおよびそこから導出された星の年周視差、固有運動等の必要な  
物理情報をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開できること。



# ★その他の具体的な科学目的の例 \* 小型JASMINEサイエンスWGによる検討

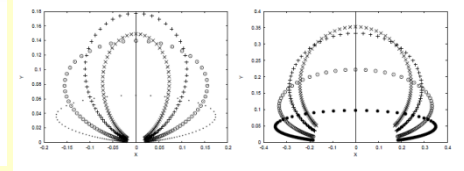
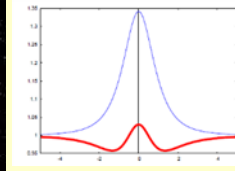
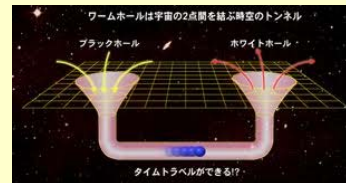
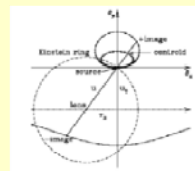
## I. 小型JASMINEが、他のミッションに比べて威力を発揮できる銀河系中心付近での天体物理学

- (2)中心付近の星団の運動→星団の起源
- (3)バルジ内の共生星X線連星やX線点源の解明
- (4)星間吸収物質の3次元分布
- (5)中心付近の変光星の物理的解明
- (6)重力レンズ効果→重力レンズ天体(太陽系外惑星系も含む)の物理的解明



ワームホールの発見?!

(7).....



## II. 銀河系内天体で、短時間変動現象を伴い近赤外線で明るく物理的に興味がある、いくつかの特定天体: 高エネルギー天体連星系、恒星が低質量な 系外惑星系、活動恒星などに対象を特化し、これらの天体の物理的解明。

特定天体方向: 夏と冬の一部に観測(観測方向に制限有り)

\* 共同利用の一環として、公募により、観測天体やその優先度を決定予定。

観測精度(目標): 対象天体の科学目的に応じて10 $\mu$ s以上の相対位置精度、測光精度は相対精度で0.01mag以下

○X線連星系(Cyg X-1など)の軌道要素決定→降着円盤やジェットの基礎的な物理に迫る

○ガンマ線連星系の軌道要素解析→高密度星の正体判別、放射モデルへの強い制限

○系外惑星探査(位置天文法による検出): 特に主星が低質量星の場合。

褐色矮星まわりの惑星発見。

○既知の系外惑星の軌道要素決定→惑星の質量決定、

惑星形成モデルの制限など。

○恒星表面上での活動(黒点等)

→活動恒星の物理的解明

○星形成領域の3次元分布

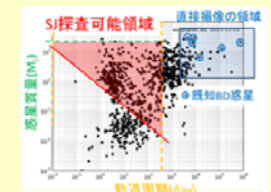
有力候補天体: Cyg X-1: ( $l=71^\circ$ ,  $b=+3^\circ$ )

周期5.6日(Gaiaでは観測不可能)

伴星:  $m_v \sim 9$ mag (小型JASMINEで検出可能)、位置変化は、40~50 $\mu$ 秒角

→小型JASMINEで測定可能。測光精度は相対精度で0.01mag以下

\* $\gamma$ Cas: WD or NS=>1 $\sigma$  degree of confidence, HESS J0632: NS or BH (2 $\sigma$ )



主星が低質量星( $M_s < 0.1 M_{\text{sun}}$ ,  $V-H > 7$ mag)の場合は、Gaiaより有利。3ヶ月間で惑星を検出可能。褐色矮星周りの惑星が発見されればインパクト大

## ◎科学目的の意義と当該研究分野での位置付け

★国内の推進コミュニティの母体：光学赤外線天文連絡会（光赤天連）

2020年代の将来計画検討報告書を取りまとめ中

\* 以下は、報告書の中でのexecutive summaryの現状案

○2020年代前半に於いてSPICAに直結する技術課題に取り組み、また天文衛星観測に経験を積んだ人材の育成とコミュニティによるスペースミッションを用いた科学的成果の継続的創出を図るため、**公募型小型計画の実現を重視し、SPICAの推進と同時に希求する。**また将来公募型小型計画の推進チームの一部がSPICA計画に合流することを期待する。

○公募型小型計画としてこれまで光赤天連は、小型JASMINE計画に対して高い評価を与え支援してきたが、2014年2月の小型計画の公募では、最終候補に残ることはできなかった。しかしながら、小型JASMINEは、「バリオン宇宙の多様性」というトップレベル課題の重要要素の一つである「巨大ブラックホールの形成進化」の解明を天の川銀河の中心核バルジの精密動力学的解析を通じて目指すミッションであり、**我々光赤天連コミュニティが支援を続けるに相応しいミッションに変わりがなく、引き続き推進していく。**

## ◎国際的位置付け、日本が主体で実施する点

### (1) 世界的なユニーク性とIAU（国際天文学連合）Commission A1 (astrometry)からの推薦

- \*Gaiaを補完する、近赤外線、かつ高頻度での高精度位置天文観測。  
Gaiaチームからも期待されている

- （Gaiaのデータ解析チームが、小型JASMINEへ参加意思表示）

- \*その世界的ユニーク性から、IAU Commission A1のpresidentから正式な推薦  
（推薦書を参照）

- \*Nano-JASMINEにより、衛星開発の経験を積んできている。

- \*国内では、地上電波観測のVERAがあり、VERAとの協調が可能

### (2) 将来の国際的な計画への橋渡し

- \*WFIRSTやPost-Gaiaでの赤外線位置天文観測への貢献が可能。

### (3) 中心核バルジ、巨大BH研究での国際的位置付け

- \*バルジ星の視線祖速度と元素組成観測：APOGEE-2計画（プロジェクト）  
サイエンス連携に関して、小型JASMINEとAPOGEE-2, SDSS-IVとで  
MOUを締結。

# IAU のCommission A1 (astrometry)を代表して、 Commissionの Presidentからの 小型JASMINEへの推薦書 (2016年12月4日付け)



Universiteit Leiden

Dr. Anthony G.A. Brown  
Leiden Observatory, Leiden University  
2333 CA Leiden, Netherlands

Leiden, December 4, 2015

**From:**

IAU Commission A1: Astrometry

**To:**

Dr. Naoteru Gouda  
Small-JASMINE project

**Regarding:**

Letter of support for the Small-JASMINE space mission

Dear Dr. Gouda,

The Small-JASMINE project under study mainly by National Astronomical Observatory of Japan is a dedicated astrometric mission aiming at collecting positions, proper motions, and parallaxes for stars in the Galactic centre and bulge region. Because Small-JASMINE operates in the near infrared (around  $H$ -band) it is able to penetrate the large amounts of dust which otherwise obscure this region from the view of optical astrometry surveys. In addition the astrometric data collected for large amounts of sources by Small-JASMINE make it much more efficient for studying the inner Galaxy than radio-astrometry observations that have to proceed slowly, source by source.

Small-JASMINE will address important scientific questions regarding the origin and evolution of the Galactic bulge and the astrophysics of the Galactic centre, including the super-massive black hole located there. We note that the high observing cadence of Small-JASMINE and the capability to access other areas of the sky outside the inner Galaxy observing season, make this mission of great interest to a wide section of the astronomical community.

We emphasise that the above characteristics of Small-JASMINE make it highly complementary to the European Space Agency's Gaia mission. IAU Commission A1 thus fully supports the Small-JASMINE mission.

Best regards,

Dr. Anthony G.A. Brown  
President IAU Commission A1: Astrometry



ARI@ハイデルベルグ大学の  
Gaiaチームから、  
小型JASMINEへの  
参加意思表示のレター

## Small-JASMINE — Letter Of Interest

November 27, 2015

Submitter: Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg — Astronomisches Rechen-Institut

Dr. Ulrich Bastian (Department Head Space Astrometry, Gaia Core Processing Manager)  
Dr. Michael Biermann (Gaia First Look Manager)  
Dr. Marcus Hauser (Gaia First Look Scientist)  
Dr. Wolfgang Löffler (Gaia First Look Software Architect, former JSPS fellow)

Contact: Dr. Michael Biermann  
Tel.: +49 6221 541880, e-mail: [biermann@ari.uni-heidelberg.de](mailto:biermann@ari.uni-heidelberg.de)

### The ZAH-ARI Gaia team

The *Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg* — *Astronomisches Rechen-Institut* (ZAH-ARI) has been actively involved in astrometric space missions since more than 30 years. During this period, knowledge and experiences have been transferred from the work on the HIPPARCOS satellite to the challenges of the Gaia mission. A team of twelve people is presently working on different aspects of the Gaia data reduction. These are (i) a daily check of Gaia's instrument health and the scientific data quality, (ii) contributions to the Gaia astrometric data reduction, (iii) the tracking of Gaia's orbit with ground-based optical telescopes and (iv) contributions to the final catalogue preparation. The ZAH-ARI Gaia team collaborates with many other institutes all over Europe involved in the data reduction of Gaia's science data.

The main contribution of the ZAH-ARI team to the Gaia mission is the so-called First Look group which aims at ensuring that Gaia works fine and the data reduction runs correctly. This team is a well-experienced group which has been working on astrometric data reduction since more than ten years for the Gaia mission. We especially have been producing – for the last two years – every day a full astrometric solution of all observations accumulated within a day, and in weekly reports we report on all problems and oddities we experience.

### ZAH-ARI contributions to small-Jasmine

The submitters of this *Letter of Interest* and the ZAH-ARI First Look team are very interested to contribute to the ambitious small-Jasmine mission with our astrometric-space-mission knowledge. Two areas for our contributions could be

- either support (both on the specification and software development level) for the astrometric data reduction
- or/and a set-up of a small-JASMINE First Look system as for Gaia that regularly checks small-Jasmine's instrument health and data quality in order to early identify problems or oddities that possibly can be removed by changes in the on-board software or by improved calibrations in the on-ground data reduction.

Further tasks in small-JASMINE's data reduction are of course conceivable.



Dr. Ulrich Bastian



Dr. Michael Biermann

# ドレスデン大学の Gaiaチームから、 小型JASMINEへの 参加意思表明のレター



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

Fakultät Umweltwissenschaften Lohrmann-Observatorium

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden



Prof. Dr. habil.  
Sergei A. Klioner

Telefon: +49(0) 351 4633-2821  
Telefax: +49(0) 351 4633-7019  
E-Mail: Sergei.Klioner@tu-dresden.de  
web: <http://www.urz.tu-dresden.de/~klioner>

To whom it may concern

**Letter of interest** for the data processing for the astrometric mission small-JASMINE

Dear Sir,

I was happy to learn that the preparations for the Japanese astrometric mission small-JASMINE are progressing well. With the second European astrometric mission Gaia, astrometry, being the oldest field of astronomy, is flourishing and attracts a lot of interest and attention from scientists worldwide. High-accuracy astrometry promises to deliver the whole range of new possibilities in astrophysical research by giving accurate proper motions and distances thus providing a six-dimensional phase space description of the kinematics of stellar systems.

Gaia (as Hipparcos) is an optical instrument, which has its advantages and disadvantages. One big disadvantage of the optical range is the inability of Gaia to observe the objects in the central bulge and close to the Galactic centre, which are hidden in the optical behind the dust. Small-JASMINE promises to close this gap by using the IR range and concentrate on the area of the bulge. It is clear that a lot of science can be done from accurate astrometric observations of this region of the Galaxy. To mention just one application field, the accurate observations of the dynamics of the Galactic centre allows one to test Fundamental Physics in the strong-field regime.

On behalf of the astrometry group of Lohrmann Observatory, Technische Universität Dresden, I would like you express our deep interest in participation in the data processing of the small-JASMINE mission. Our group is the core member of the Gaia astrometric group since approximately 15 years. We participate in the development of both theory as well as software for the Gaia's Astrometric Global Iterative Solution

*Postadresse (Briefe)*  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden

*Postadresse (Pakete u.ä.)*  
Technische Universität Dresden  
Heinrichstraße 10  
01069 Dresden

*Besucheradresse*  
Sekretariat:  
Beyerbau, Zi. 147a,  
Georg-Bähr-Str. 1  
01069 Dresden

*Internet*  
<http://astro.geo.tu-dresden.de>

(AGIS) – the method and software that is being used now to obtain the astrometric solution of Gaia. We have extensive experience with relativistic modeling of high-accuracy astronomical data in general and in astrometric modeling in particular. We make important contributions to the calibration model of Gaia astrometric instrument. We are responsible for tests of fundamental physics with Gaia data. We do believe that our experience will be a good asset for the planned small-JASMINE mission and the Japanese astrometric community.

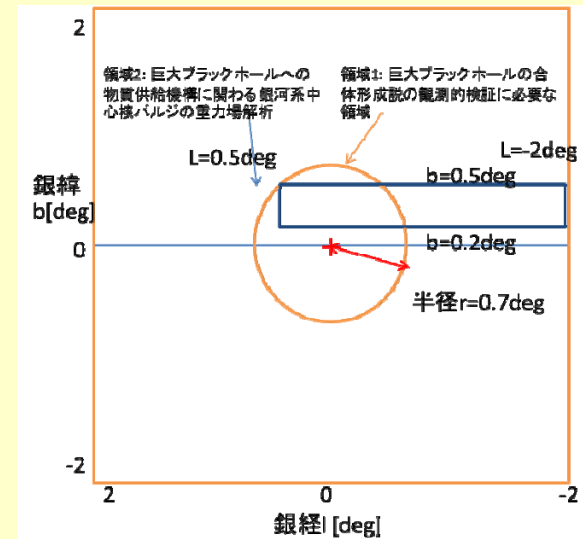
Sincerely Yours,

Sergei Klioner



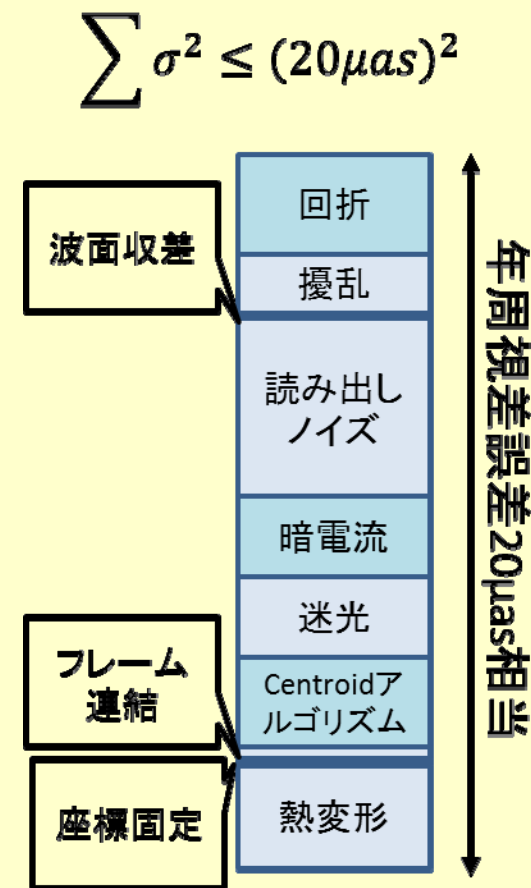
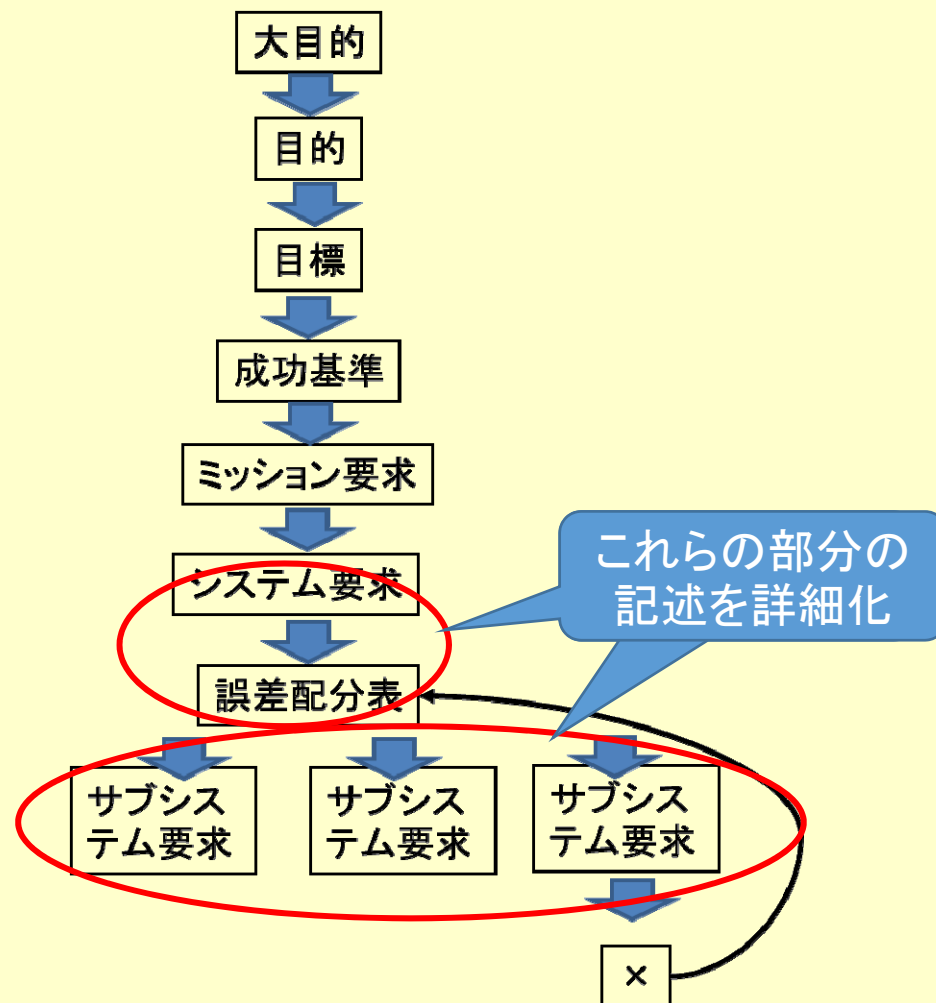
# システム要求(案)

1. 観測システム要求: 主鏡口径が30cm級の光学望遠鏡により  
近赤外線帯域で撮像を行い、観測データを解析することにより  
星の年周視差・固有運動などの必要な物理情報を求める。
2. 観測軌道、運用期間: 軌道は高度550km程度以上の太陽同期軌道とし、  
運用期間は打ち上げ後3年とする。
3. 観測期間: 春分、秋分付近の定められた期間を含む一定期間、  
銀河系中心核バルジ方向を観測する。
4. 視野操作: ミッション要求の全観測領域のカバーを行う  
視野操作を可能とすること。
5. サブシステム: ミッション要求を実現するために、各サブシステムの仕様が  
適切に設定され、各サブシステムへの誤差配分が妥当であること。
6. 打ち上げ: イプシロンで打ち上げ可能なこと、衛星システムは、その環境条件、打ち上げ能力、インターフェースに  
適合すること。
7. 衛星バスシステム: 小型科学衛星標準バスを用いること。ミッションシステムはその能力とインターフェースに  
適合すること。
8. 通信システム: 衛星通信システムは、観測全データを送信する能力を有すること。  
地上局はその通信を受信・復調・処理する機能を持つこと。
9. 衛星管制・追跡ネットワークシステム: コマンド／テレメトリ運用により、衛星状態を確認し、  
ミッション・衛星運用計画の立案／運用を行う機能を持つこと。軌道を決定し、軌道計画立案／軌道制御を行う  
機能を持つこと。
10. 利用研究系システム: 観測データを保管管理、集配信する機能を持つこと。  
観測データの処理・解析を行い、年周視差・固有運動等を導出する機能を持つこと。  
カタログ公開に必要なソフトウェア・ハードウェアが用意されていること。



**追加の運用要求** ⇒ ミッション要求、システム要求を満たす仕様の範囲内で観測可能な、選定された特定天体毎に定めた観測スケジュールで、その天体の天球面上での位置の時間変動を測定できるように運用する。

# システム要求からサブシステム要求への reduction



# 誤差配分表

項目	生の値	要因	根拠	数(N)	効果※
回折	481mas	D、 $\lambda$	$0.5 \lambda/D/f$	$2.5 \times 10^9$ ミッション中の 総光子数	9.67 $\mu$ as
擾乱	278mas	構造擾乱	バスからの擾乱にNEC経験値の よる伝達係数を乗じる		5.58
波面収差	109mas	光学精度	$\lambda/8$ の場合のPSFサイズの変化		2.19
読み出しノイズ	2.86mas	検出器	30eの時の星像重心への影響	$1.5 \times 10^5$ ミッション中の 同一天体撮像 数	7.42
暗電流	1.9mas	温度	180Kの時の星像重心への影響		4.93
迷光	1.9mas	反射率	影響が上記と同程度という要請		4.93
アルゴリズム	1.8mas		星像推定アルゴリズム誤差		4.67
フレーム連結	62 $\mu$ as	温度安定	3000星/plateある場合を想定	7400(大フレーム数)	0.72
座標固定	1.15 $\mu$ as		Gaiaで測定される（バルジの手 前の）ディスク星	1( $\sqrt{N}$ で落ちない系統誤差要 因)	1.15
速度推定	1 $\mu$ as		光行差補正。GPSの位置推定と それによる軌道推定誤差。		1.00
位置推定	0.001 $\mu$ as		GPSの位置推定誤差による、視 点の誤差。		0.001
熱変形	5.21 $\mu$ as	温度安定	要求値、変動推定後の残差。現 在の熱モデルでは成立。		5.21

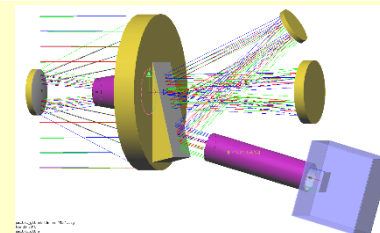
# ★ミッション・システム要求を満たすシステム仕様案

## ○観測装置仕様案

主鏡口径:30cm、焦点距離: 3.9m  
 視野面積:0.6度×0.6度  
 アstrometry用検出器: HgCdTe(4k×4k)1個  
 アstrometry用観測波長: Hw-band(1.1~1.7ミクロン)  
 photometry用観測波長: J, Hバンド、 HgCdTe(1k×1k)2個

## ○観測装置性能:

- \* 迷光対策
- \* コンタミ、アウトガス対策
- \* 望遠鏡、検出器部の温度と熱設計
- \* 熱構造安定性
- \* 望遠鏡の指向安定性



## ○データ通信: 科学データ用にミッション部でXバンド使用

## ○データ処理系: 特に問題は無い。

## ○姿勢: 特に大きな問題は無い。

## ○電力: マージンあり。

## ○衛星重量: 制限を満たす(約335kg(RCS搭載の場合は、約400kg))

## ○標準バスとのインターフェース: 特に大きな問題は無い。

## ○データ解析手法: 同一天体の高頻度観測=>同一フレームが多数枚。

- \* 星の相対位置は短時間では変化しない、長時間では単独星は天球面上でらせん運動をする。

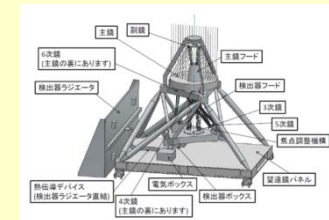
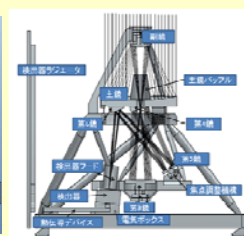
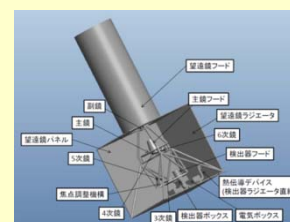
=> 自然の校正装置により、系統誤差の推測。

残差はランダム化=>多数フレームにより、誤差が減少。

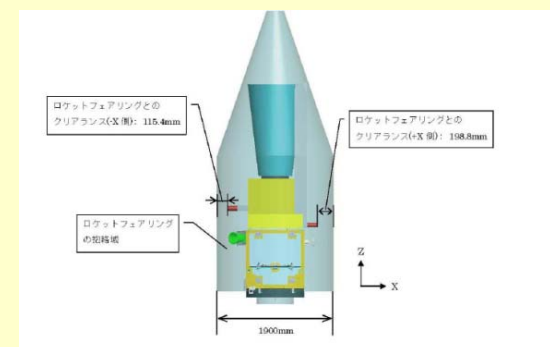
- \* 年周期の装置変動や永年変動=>GaiaやUCAC4の観測データを校正に使用

## ○コスト: リスク、マージン込みで、公募条件にある上限予算内の見込み

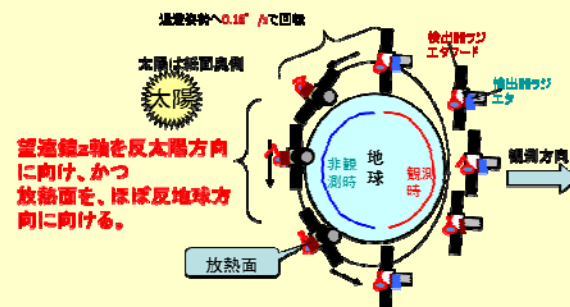
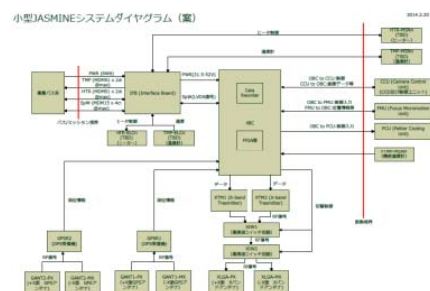
**Criticalな技術要素に関しては、多段階(部分試作、BBM、EM、FM)の実証計画を立てている**



\* トラス構造(衛星取り付け部に静定トラスにより直接支持)



\* フェアリング搭載性



## ○軌道、姿勢

- \* 地球周回軌道(昇交点地方時6h太陽同期軌道)
- \* 軌道高度550km

ロケットチームによる飛行解析結果:  
 高度550kmの太陽同期軌道に重量402kgを打ち上げ可能

26

(注) RCSを搭載予定。

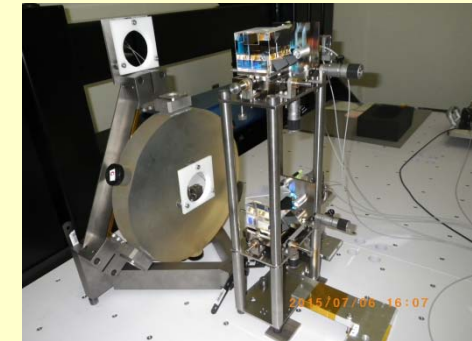
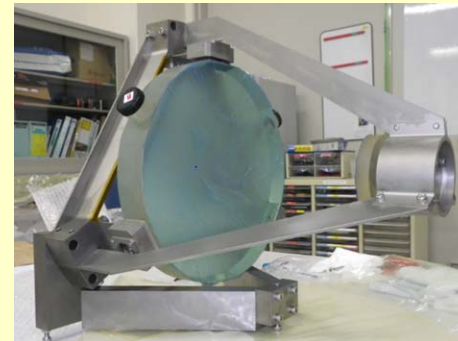


# ★鍵となる技術要素の技術実証実験

宇宙研の競争的資金である戦略的開発経費に毎年度採択され、試験、実験が進んでいる。

## (1) 観測装置の熱変動実証

全スーパーインバー製望遠鏡の構造設計の成立性を実証することを目的として、部材試験および部分モデルによる熱膨張特性の実測を行った。インバー製ブラケットを接着したCFRPパイプとインバーパイプについて熱膨張特性を計測した。ブラケット接着が熱膨張に及ぼす影響は小さく $10^{-8}/K$ の桁までブラケット無パイプと熱膨張率が一致した。



熱歪み検証モデル(左)と熱歪み計測レイアウト(右):

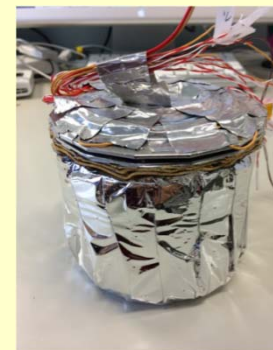
特殊鋼メーカー2社に依頼し、極低熱膨張のスーパーインバーの開発を行った。スーパーインバー(Fe-Ni-Co)の組成を含有量を0.1%単位で調整し、**熱膨張率が $0 \pm 5 \times 10^{-8}/K$ のスーパーインバーを得た。**この材料を用い部分モデルを製作した。

## (2) 熱環境

検出器は放射冷却とペルチェを組み合わせて、検出器の熱電流が許容範囲以下となる180K以下にまで冷却し、0.7K以下の温度安定性を実現させることを目標としている。このような熱環境を実現させるため、また常温から低温への温度変化によって生じる熱収縮率の違いが検出器アライメントに影響を与えないように、H26年度はMLIを巻いたアルミとガウエボを4重に折り返した構造を持つ検出器ボックスを設計した。また本構造の成立の鍵となるMLIの巻き方の検討と、それにより達成される実効輻射率の測定を行った。実効輻射率としておよそ0.2-0.3という値が得られ、熱構造解析により目標とする熱環境が成立する見通しが得られた。

## (3) 光学系調整

光学系のアライメント設計を企業に委託中。その後、アライメント調整の実証実験を行う。



実証実験の検出器ボックスダミー(左)と実験全体像(右)

## \* コストの再評価:

ミッション部のインテグレート候補の衛星メーカーと、サブシステム担当メンバー、担当企業とによる検討→公募条件の制限内に入る見込み

よろしく御願いたします。

Jasmine

