

小型JASMINE計画の概要

Current status of small-JASMINE

郷田直輝(国立天文台)、○山田良透(京都大学)、
JASMINE ワーキンググループ

- P-038 20マイクロ秒角の位置天文精度達成のためのデータ解析、HSTデータとシミュレーション
- P-039 小型JASMINE(赤外線位置天文観測衛星)計画の全体的概要
- P-040 小型JASMINEの非球面ミラー測定
- P-041 小型JASMINE赤外線検出器の冷却システム開発
- P-042 星の高精度位置決定実証

小型JASMINEの概要

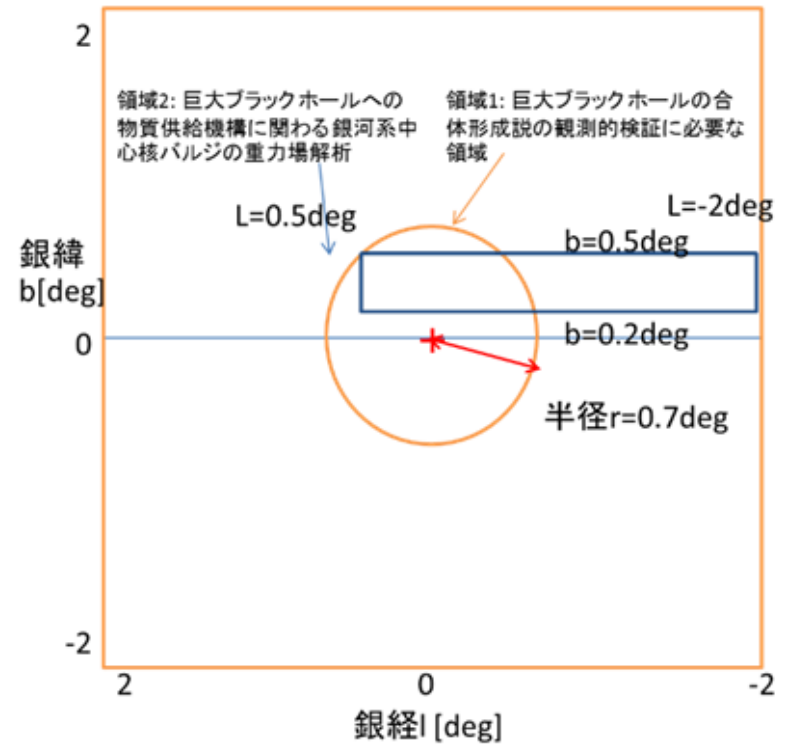
- **Hwバンド**(1.1~1.7 μm)の波長域における撮像観測を**高頻度**(約100分に1回)で行い、その観測で得た天体の天球面上での**位置の時間変動**(時系列データ)とそこから導かれる**年周視差と固有運動等**の位置天文パラメータの情報等をカタログとして公開。
- **Gaia**では測定困難な天の川銀河(銀河系)の中心領域を**補完**する観測が強く期待されている。
 - 可視光観測のGaiaでは、高精度で多数の星を観測することは困難

科学目的

- 主目的: 宇宙に巨大ブラックホールはなぜ存在するのか？
 - 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

ミッション要求

- 領域1:
年周視差誤差 $<20\mu\text{as}$ 、
固有運動誤差 $<200\mu\text{as/yr}$
3500個以上
- 領域2
年周視差誤差 $<20\mu\text{as}$
固有運動誤差 $<150\mu\text{as/yr}$
2000個以上



小型JASMINEミッション部の概要

観測装置使用案

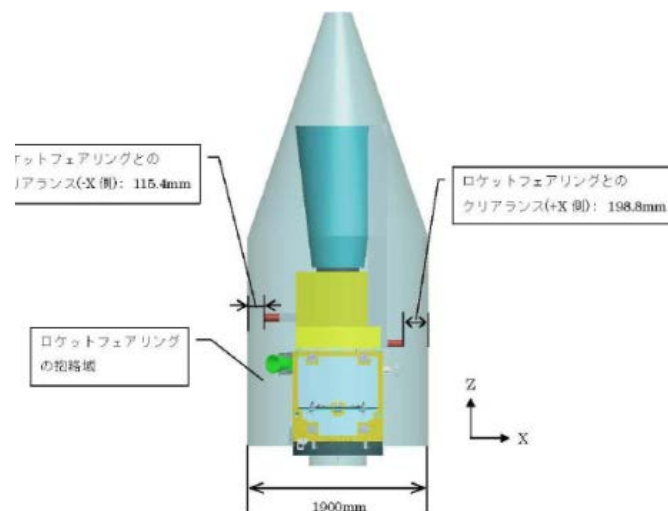
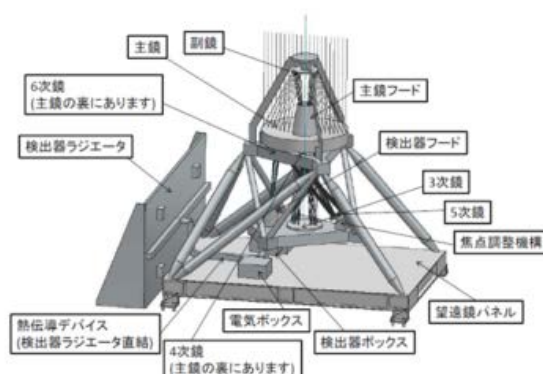
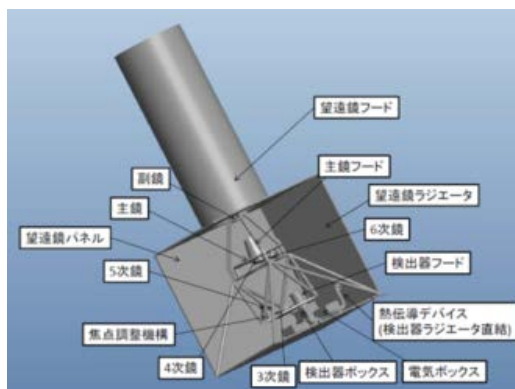
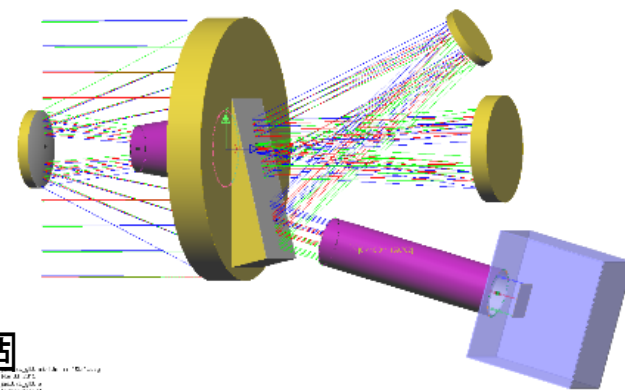
主鏡口径: 30cm、焦点距離: 3.9m

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

アストロメトリ用観測波長: 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



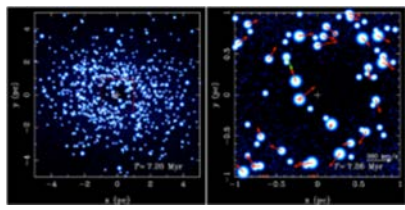
科学目的

- 主目的: 宇宙に巨大ブラックホールはなぜ存在するのか？
 - 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
 - カタログを提供する
- 副次的目的: 物理的に興味がある、いくつかの特定天体に特化し、これらの天体の物理的解明。

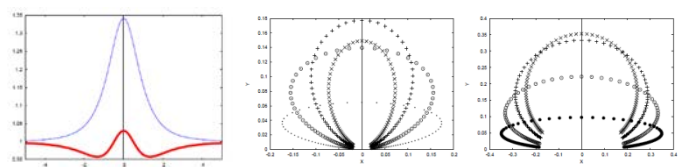
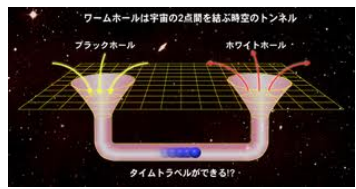
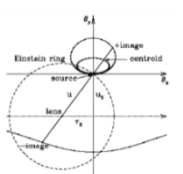
★その他の具体的な科学目的の例 * 小型JASMINEサイエンスWGによる検討

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**



- (7)
ワームホールの発見?!



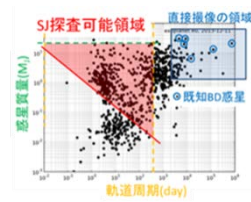
II. 銀河系内天体で、**短時間変動現象を伴い近赤外線**で明るく物理的に興味がある、いくつかの特定天体: **高エネルギー天体連星系、恒星が低質量な系外惑星系、活動恒星**などに対象を特化し、これらの天体の物理的解明。

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 μ 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)

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 μ 秒角
 → 小型JASMINEで測定可能。測光精度は相対精度で0.01mag以下

* γ Cas: WD or NS=>1 σ degree of confidence, HESS J0632: NS or BH (2 σ)

- **活動恒星の物理的解明**
- 星形成領域の3次元分布

主星が低質量星($M_s < 0.1 M_{sun}$, $V-H > 7$ 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

★キー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。

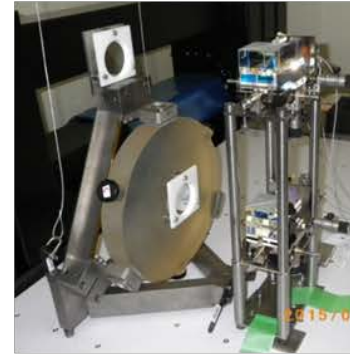
- (1) 観測装置の熱変動実証
- (2) 熱環境
- (3) 光学系調整

* システムの詳細評価:

ミッション部のインテグレート検討担当の衛星メーカとバス部メーカとにより、開発計画、コスト評価などが進んでいる。



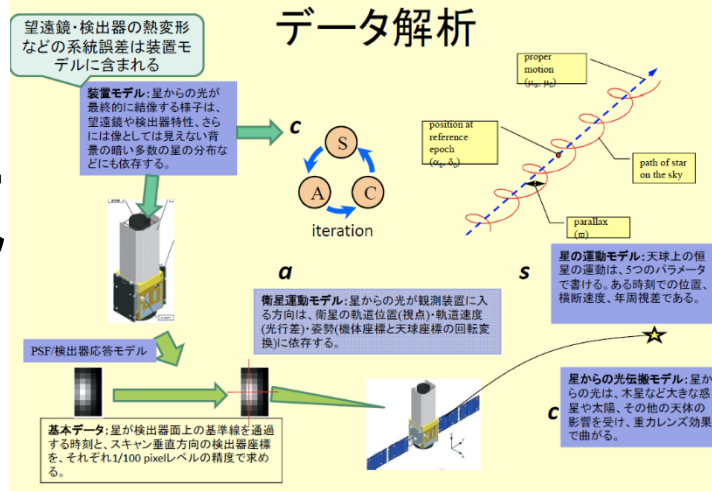
熱歪検証モデル: 特殊鋼メーカ2社に依頼し、極低熱膨張のスーパーインバーの開発を行った。
スーパーインバー(Fe-Ni-Co)の組成を含有量を0.1%単位で調整し、**熱膨張率が $0 \pm 5 \times 10^{-8} / K$ のスーパーインバーを得た。**
この材料を用い部分モデルを製作した。



実証実験の模擬検出器ボックス。

右: 熱ひずみ検証モデルと三軸干渉計の設置状況
左: 真空槽中の熱ひずみモデルの設置状況

位置天文精度の達成

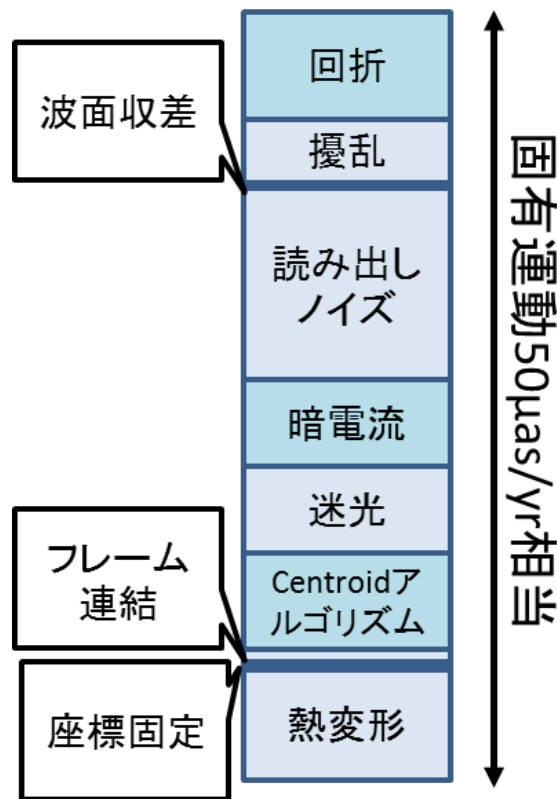
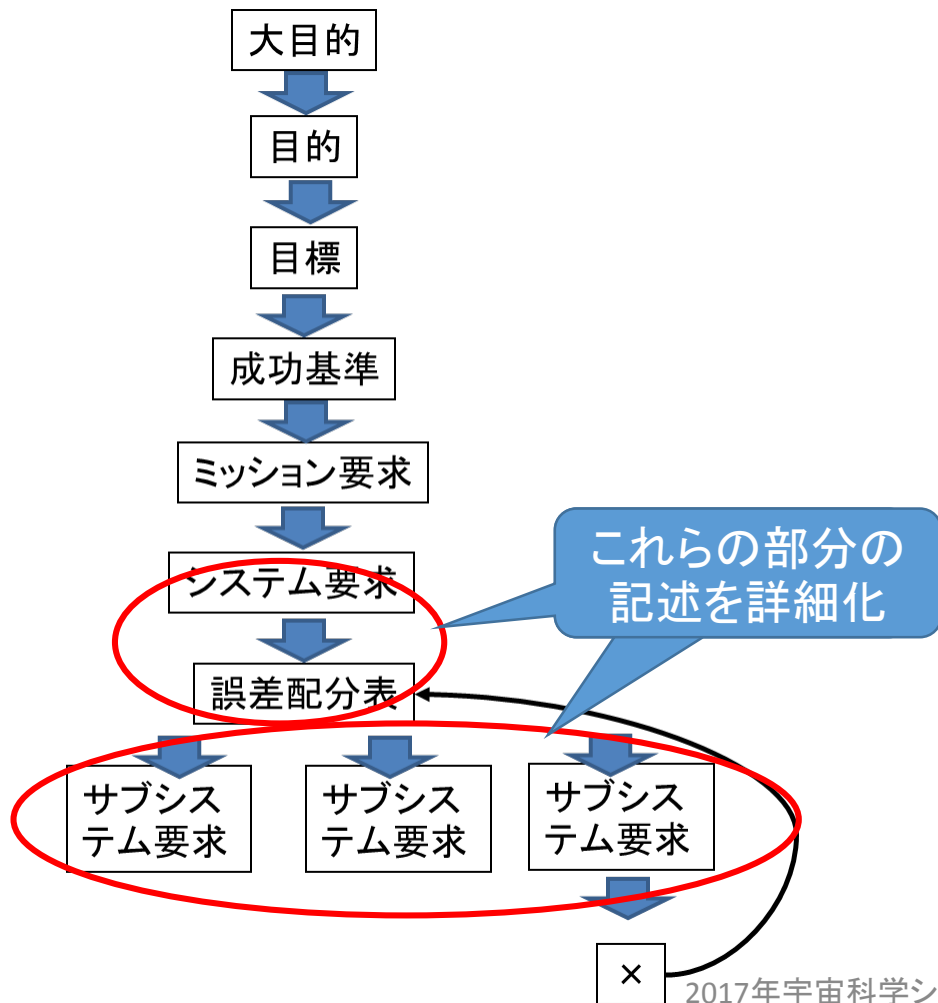


- 装置のゆがみや特性の非均一性・変化等を**同時に**解く。
 - 星を使ったキャリブレーションができる。
 - 短時間ではほぼ動かない
 - 長時間でも運動が少数パラメータで表される。
 - Gaiaの星を使ってキャリブレーションする

- 推定の「コスト」を小さく抑える
 - パラメータ数を減らす、推定しやすいモデル・・・
 - ⇒ 熱・構造安定性、収差が少ない光学系、・・・

システム要求からサブシステム要求へのreduction

$$\sum \sigma^2 \leq (13\mu as)^2$$



Gaiaコミュニティとの協力

- 小型JASMINE採択時の協力を約束
- 2016年8月来日
- キャリブレーションに関する検討開始

- 2016年12月、Gaia-JASMINE joint meeting

status

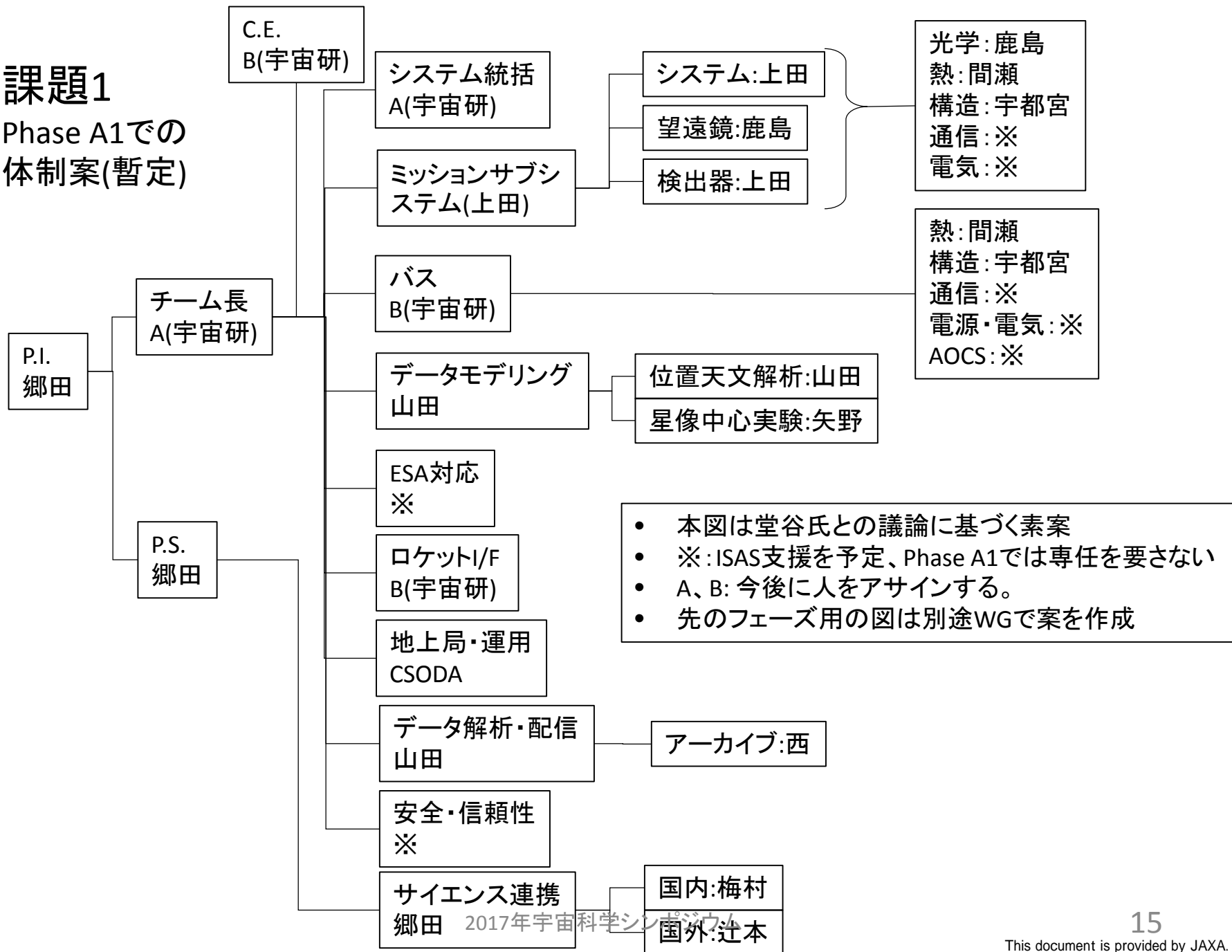
- 2013年度小型科学衛星に応募(2014年2月末)
- 2014年5月末、改訂提案
- 不採択
- 2015年度公募型小型計画に応募(2016年1月末)
- 2016年6月中旬、「 Δ MDRを受けることを推奨」
- 2017年TBD頃確認会、4月 Δ MDRを目指して準備中

公募型小型計画の評価結果(2016年6月17日)と課題

- 現状のままでは推薦できない。ただし、計画の再検討の後、再評価(Δ MDR)を行うことを推奨する
- Phase-A1 に移行する前に、小型 JASMINE 提案チームと宇宙科学研究所が連携し、必要にして十分な体制構築を行う
- 20uas (1pixel の25000 分の1)という位置測定の精度が得られることが必要とされており、この実現性についてのリスクが大きいことが懸念される。位置決定精度の実証、特に多数枚撮像・貼り合わせ手法(フレーム連結)により精度達成が見込めることについて、実データを使用して示すことが必要である

課題1

Phase A1での体制案(暫定)



技術的成立性検討の方法整理

	星像中心実験	シミュレーション	HSTデータの解析
達成精度	1/25,000ピクセル	1/数百ピクセル	1/100～1/200ピクセル(論文等の実績)
検討の特徴	1次元方向での評価	スケールダウンしたシミュレーション※	実データを用いる
データ数	100万枚を用意	単体のPCで扱えるのは数百枚	撮像済みのデータ数で制約される。
誤差要因	要因を問わず解けることを実証	想定した要因についての評価	実際の撮像で起こる要因
解けるもの	残差の減少	真値とのずれ	残差の減少
装置	実験室系	小型JASMINEに近いスペック	位置天文に特化していない望遠鏡

※:フルスケールでの解析に移行するために、ソフトウェアメーカーとの検討を計画している。Hadoopやクラウドの利用などの枯れた技術の使用なので、開発リスクは無いが、予算措置が必要なので、次のフェーズに上がった段階で検討する予定。(ミッション提案の予算にも計上している)

データ解析



- 撮像プレート(検出器)に沿った座標系で、 $1/150$ ピクセル精度の星像中心位置を求める
 - 良いPSFモデルが作れるか(HSTの手法を応用)
 - PSFモデルには必要な誤差要因が全て含まれているか
- 複数の撮像プレート上の星像中心位置の時系列から、星の運動、プレートの歪みなどを同時に解く
 - プレート歪のモデルが必要かつ十分か(1次~2次多項式程度)
 - キャリブレーションのやり方は適切か(Gaia星)

その他: 戦略経費での検討状況

戦略的開発経費〔システム検討〕

- バス: 軌道、姿勢、電力等の詳細化 (メーカ検討)
- ミッション: システム検討、クリティカルな点の技術検討(電気系)(メーカ検討)
- 両メーカ: コスト見積もり、リスク評価、スケジュールのすり合わせ
- 約1回/月の打ち合わせを行っており、順調に進んでいる。

戦略的開発経費〔キー技術〕

- 構造安定性に関する実験
- 植毛の性能評価
- ヒートパイプ入手性調査
- フレキシブルジョイント部の実験
- 検出器周りの熱制御実験

* 採択された予算について、検討、実験等が順調に進んでいる。