

[g04-01] 赤外線位置天文観測衛星JASMINEのシステム概要

片坐 宏一 (宇宙研)、赤外線位置天文観測衛星(小型JASMINE)プリプロジェクト候補チーム

●JASMINEの観測ターゲット

- 銀河系中心方向に位置する恒星の距離と運動を超高精度で測定し、天の川銀河の中心核構造と形成史を明らかにする (Fig.1)
 - 観測方向: 銀河系中心バルジ
 - 観測期間: 春分・秋分の前々45日ずつに限定される (Fig.2)
 - 冬期: 銀河中心方向の45°以内に太陽が位置して望遠鏡が指向できない
 - 夏期: ラジエータが地球を見てしまい、検出器の温度条件を満たさない
- トランジット観測によるM型星周りのハビタブル惑星の探査 (Exo-JASMINE)

[口頭S5-002 郷田・他 参照]

[ポスター-g04-09 河原・他 参照]

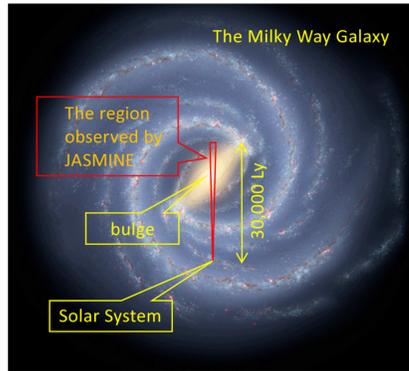


Fig.1 天の川銀河におけるJASMINEの観測領域

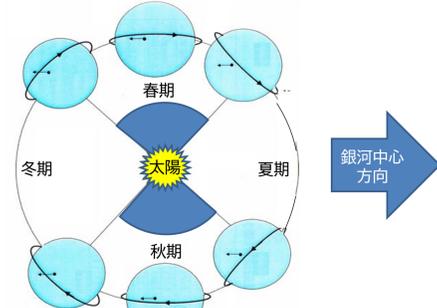


Fig.2 JASMINEの軌道と観測方向
太陽同期極軌道(昼夜境界)
高度550km(TBD)、軌道傾斜角97.6°(TBD)
降交点通過地方時 6:00/18:00

●JASMINEの挑戦

- 1回7秒間の撮像による高性能撮像
 - 回折限界に近いPSFで、星位置推定に使える光子数を確保【理解:容易、測定:標準的】
 - 視野0.6°内のどこでも同じPSFを維持【理解:容易、測定:高精度になると難】
- 衛星軌道半周回(50分間)の安定性
 - 星の相対位置関係の安定性を維持
 - 相似変形(低次)を許すが、歪曲収差の時間変動の高次部分は10 μ s以下【理解:難、測定:難・挑戦的】
 - 歪曲収差は観測された星を使ってモデルフィット:大きな収差でも問題なし
 - 温度変動による収差の単純変形はモデルフィット:問題なし
 - 残った温度変動による収差を非常に小さく抑える(地上で測定不可能なレベル)

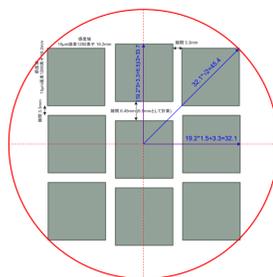


Fig.3 焦点面(検出器)レイアウト案
(焦点距離=7292.3mm、口径φ40cm)

Table 1 赤外線検出器の比較 (HgCdTe vs. InGaAs)

	米国Teledyne社製 H4RG-10	新しい国産イメージセンサー
規格	HgCdTe, 4096x4096, 10 μ m/pix	InGaAs, 1280x1280, 15 μ m/pix
動作温度	> 80 K	> 130 K
カットオフ波長	調整可 (< 2.5 μ m)	現時点では1.6 μ mのみ
量子効率	70-90%	60-75%
暗電流	< 0.1 e ⁻ /s/pix	左記と同程度
読み出し雑音	5-30 e ⁻	左記と同程度~より高性能
アナログ回路	"SIDEAR"(ASICによる構成)	地上用回路を開発済み
宇宙用化	宇宙用開発実績あり → Roman ST (WFIRST) に搭載予定	--
調達費用	輸入品のため高い	今後の量産化で低価格が見込める

●JASMINEの検出器

[ポスター-Pa.19 中屋・他 参照]

- 国立天文台で開発されたInGaAs検出器(1280×1280)を第一候補に検討中 (Fig.3)
 - 本検出器の宇宙用化を技術のフロントローディングとして推進する予定(FY2021から)
- 観測波長: H α バンド 1.1-1.7 μ m → 1.1-1.6 μ m
- 長波長カットオフは1.6 μ m (物性上の理由)
- Teledyne社H4RG-10 (4k×4k) は米国での予算獲得を条件に候補とする (Table 1)

●JASMINEの光学系

- 望遠鏡は回折限界、超高精度の光学系 / 口径: 30cm → 40cm (Fig.4)
- スーパー・スーパーインバーを使用した望遠鏡構造 [ポスター-g04-02 宇都宮・他 参照]
 - 熱膨張率: 0 \pm 5 \times 10⁻⁸/K
- M1, M2, M3nによる3枚鏡+M4, M5の折り曲げ鏡によって構成する
 - ストレール比=0.999 (設計値) の無収差系 [ポスター-g04-03 鹿島・他, g04-05 上田・他 参照]
 - ミラー上の光線範囲が視野によってあまり差がない → 視野位置によるPSFの差が少ない
- 迷光対策 (Fig.5)
 - 地球光は望遠鏡バツフルで防ぐ (地球回避角23度(暫定))
 - 回避角を大きめ(30~35度)にすることで迷光は減少するが、観測時間/観測可能領域とのトレードオフとなる
 - 望遠鏡構造部内に検出器バツフルも設置し、内面からの迷光を防ぐ

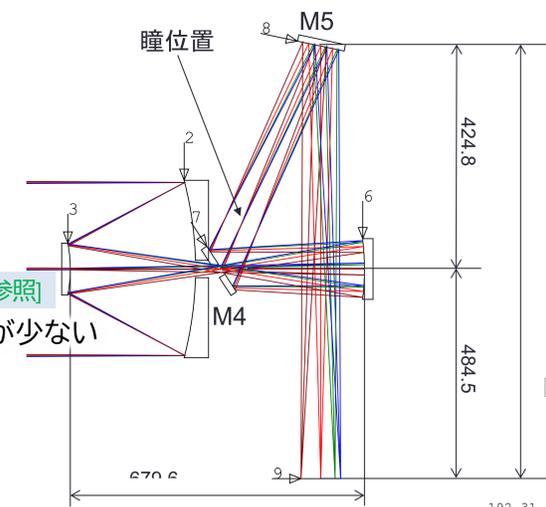


Fig.4 JASMINE光学系的设计案

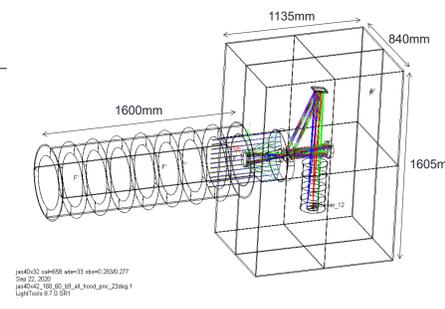


Fig.5 JASMINE光学系と望遠鏡バツフル的设计案

●JASMINEの熱制御

[ポスター-g04-04 間瀬・他 参照]

- 検出器は電子冷却+ラジエータにより180K以下に冷却 (Fig.6)
- 衛星軌道半周期(50分間)で望遠鏡温度変化が \pm 0.1K以下になるよう制御する (Fig.7)
- ラジエータの温度変化は軌道上の熱負荷の変動に依存する。以下の組み合わせから最悪値を見積もる (Fig.8)
 - 季節変動: ラジエータに対する地球角・太陽角の変化によって変動する
 - 観測期間の開始/終了時点(春分・秋分から45°)で最大/最小になる。
 - 太陽・地球の放射・アルベドの変化: 最悪値をJAXA/NASA設計標準から評価

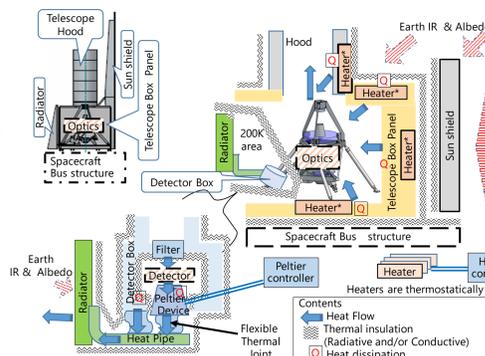


Fig.7 JASMINE熱制御ダイアグラム

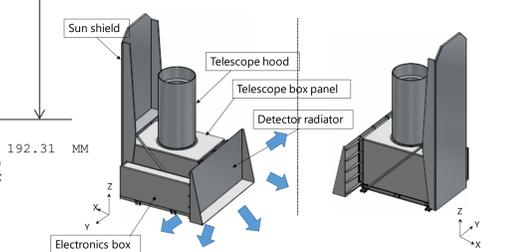


Fig.6 排熱処理(ラジエータ)の概念図

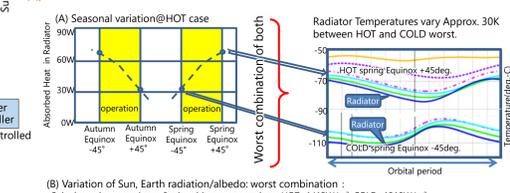


Fig.8 ラジエータ温度変化の見積もり

●JASMINEのデータ解析・End-to-endシミュレーション

- 要求事項の超高精度の位置測定を実現するためには、製造上の実現性検討と並行して、予想される観測データのシミュレーションおよび擬似データを用いた解析システムの開発が必須である [ポスター-g04-06 矢野・他, g04-08 山田・他, g04-07 辰巳・他 参照]

●基本的な位置測定的方式

- 相対位置測定の多数の繰り返しとモデルによる変動推定で要求性能を達成する
- 領域の部分画像を撮像し、重なり合う画像から観測領域全体の張り合わせ画像を作成(軌道半周期内)、相対位置測定を行う
 - 測定: 約10万個の星の相対位置
 - 既知: 半軌道周期では星の相対位置は変動なし、ほぼ全て点源
 - モデル: ピクセル応答、星像の形(PSF)、画像歪みの低次項、さらに低次の系統誤差
- 最低限の運用期間として1.5年は必要、3年が目標 → 銀河中心領域をおおよそ8000回測定
- それぞれの測定での天体の相対位置精度が要求を満たす範囲であれば、8000回の測定毎のばらつきは許容される
- 検出器の応答、光学系の効率、像の歪みは半軌道周回毎に補正するため、運用期間内での変化を許容
- 系統的な変動があれば、低次ならモデル化して差し引く

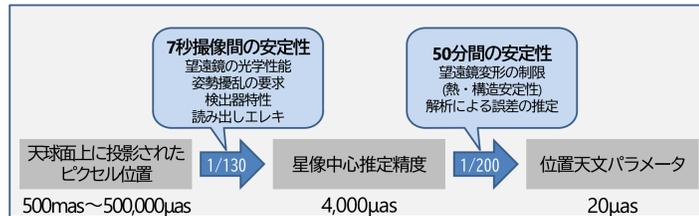


Fig.9 恒星の位置測定精度向上のフロー

●JASMINE開発の今後の課題

- 検出器: 宇宙用化開発 / 検出器の焦点面配置: 構造的・熱的に成立するか、回路系は成立するか
- 運用パターン: 検出器間の隙間を埋める観測運用、領域内の観測回数の不均一性の調整
- 位置天文パラメータ精度達成: 検出器毎の特性(歪み、パラメータ)の把握
- 光学系: メーカーでの構造設計、製造設計、試験計画に合わせて光学系の最適化を行う

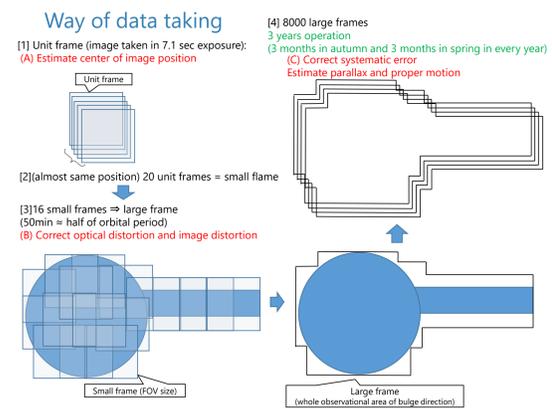


Fig.10 観測データ取得の方式

軌道上で星検出を行い、周囲9x9ピクセル程度のデータだけをダウンロードする。データが許せば、全面データを20撮像につき1回だけ地上にダウンロードする。