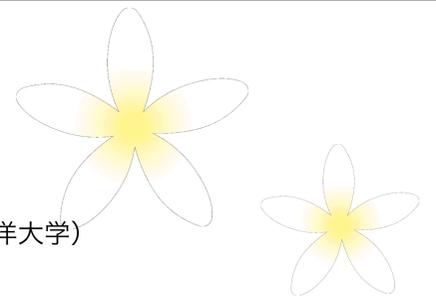


超小型赤外位置天文衛星Nano-JASMINE

の星像中心位置決定法



○原拓自（東京大学）、郷田直輝、矢野太平、鹿島伸悟（国立天文台）、山田良逸、藤田翔（京都大学）、吉岡諭（東京海洋大学）、穂積俊輔（滋賀大）、酒匂信匡（信州大学）、中須賀真一（東京大学）

Abstract

Nano-JASMINEは、JASMINE計画の第一弾として、2014年度までの打ち上げ予定の超小型位置天文観測衛星である。有効口径5cmの望遠鏡を搭載し、2方向同時観測大円サーベイ方式で全天の観測を行う。波長域はz-band($\lambda \sim 0.8\mu\text{m}$)である。大きさ50cm立方、質量35kgという超小型衛星でありながら、HIPPARCOS衛星級の数ミリ秒角精度を目指す。開発は国立天文台・京都大学・東京大学を中心に進められている。Nano-JASMINEが目標とする位置決定精度は3mas(milli arc second)であり、そのような精度を達成するために、1/600pixelの精度で星像中心位置を決定することが求められる。我々は星像中心位置決定法にLSF(Line Spread Function) fittingを用いることを検討している。LSF fittingとは様々な効果によって形状が異なるLSFを統計処理することで、LSFの形状を表す直交基底関数を導出し、観測量と比較することで星像中心位置を決定する方法である。LSFの形状が異なる効果には、光学由来、検出器由来あり、本ポスターではこれらについて検討し、解析したものを報告する。

LSFのモデル式導出

・星像中心位置決定法で用いるLSFのモデル式について説明する

LSF(Line Spread Function)

星像の中心位置は特にTDI方向の座標を求めることが重要であることから、解析にLSFを用いる。我々が用いるLSFとは、PSF(Point Spread Function)を1変数で積分し、一次元に変換したものと定義している。

以下、TDI方向の座標をu、TDI垂直方向の座標をvとして進める。

$$LSF(u) = \int_{-\infty}^{\infty} PSF(u,v) dv$$

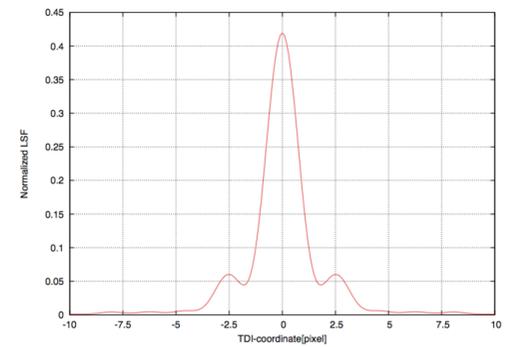
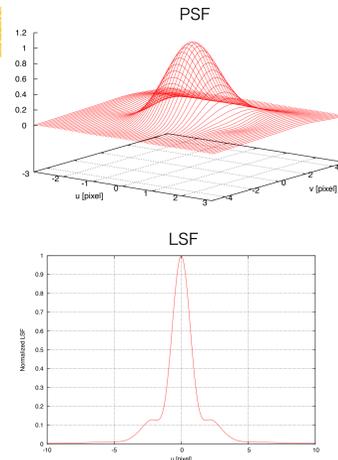


Fig.1

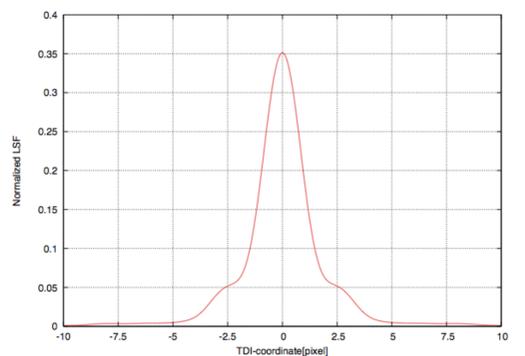


Fig.2

LSFの形状変化とその要因

LSF(PSF)の形状変化には光学由来と検出器由来によるものが存在する。

❖光学由来の効果：chromaticity（星の色）と波面収差（衛星の振動で主鏡や副鏡が偏心したりtiltすることで発生する収差）があるが、波面収差は実際に衛星が打上って観測するまで光学系の状態は決まらず、星の色に至っては天球上の星すべて異なる。しかし、検出器由来の効果はPSFに与える影響が地上で検討され、定量的に数値データとして表すことができている。

❖検出器由来の効果：TDI smearing, Photon Beam Spread, Charge Diffusionがある。Charge Diffusionは光子がCCDに入射し電子と正孔に変換され、電子がCCD最下層に降下するときに電子の密度分布が拡散し、星像が広がってしまう現象である。この効果をNano-JASMINEが用いる完全空乏裏面照射型CCDで検証したところ、分散が0.4845pixelのガウス分布となる事がわかった。光学的なLSF(Fig1)に対してCharge Diffusionをコンボリューションすると、LSFの形状がなまされFig2のようになる。

LSFのモデル式

LSFの形状変化を表す基底関数を得るために主成分分析を用いる。これは沢山のサンプルの相関もしくは分散共分散を利用し、複数の変数を統合して、データ全体の傾向・特徴を表す新たな変数を生成するものである。主成分分析によりサンプルの平均に対する変化量を表す基底ベクトルが得られるので、最小のパラメーターでモデル式を表現できる。

・モデル式の導出

- (1) サンプルのLSFとして、実際に想定される範囲内で変化させた星の色、光学系が持つ偏心を持つLSFを計算、このサンプルすべてに検出器由来の効果を加味したLSFライブラリーを作成する
- (2) このライブラリーの平均値を用いて共分散行列を計算、さらにその行列を特異値分解することで直交する基底ベクトルが得られ、平均のLSFと基底ベクトルを連続関数にして基底関数 $B_n(u)$ を得る。この際、得られた特異値を表したものがFig.3である。
- (3) 最終的なモデル式としてパラメーター b_n が線形で掛かった基底関数の線形和に中心位置 δu が入ったものとしてモデル式が得られる。fig4はサンプルの平均をとったLSFであり、 $B_0(u)$ である。fig5,6は $N=1,2$ の基底関数を表している。

$$LSF_{model}(u - \delta u) = B_0(u - \delta u) + \sum_{n=1}^N b_n B_n(u - \delta u)$$

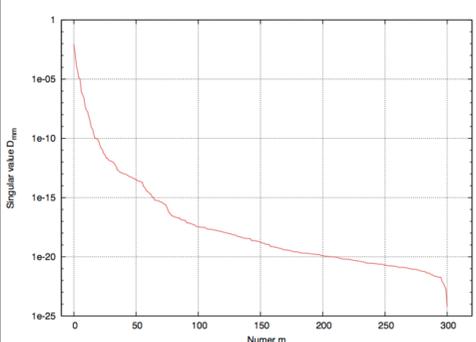


Fig.3

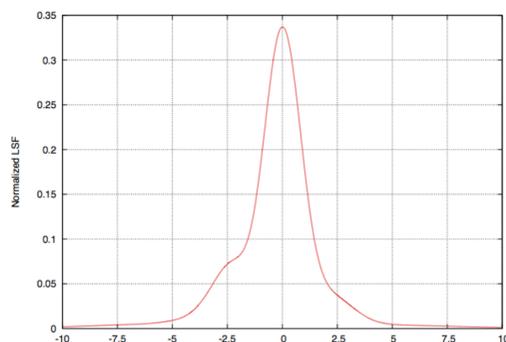


Fig.4 $B_0(u)$

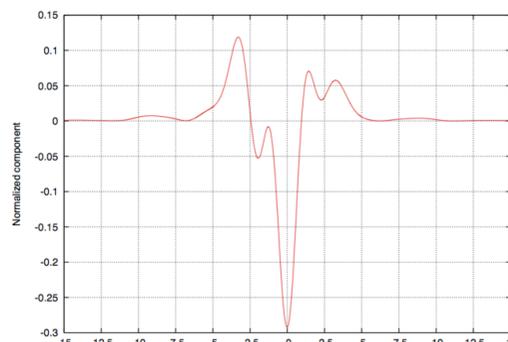


Fig.5 $B_1(u)$

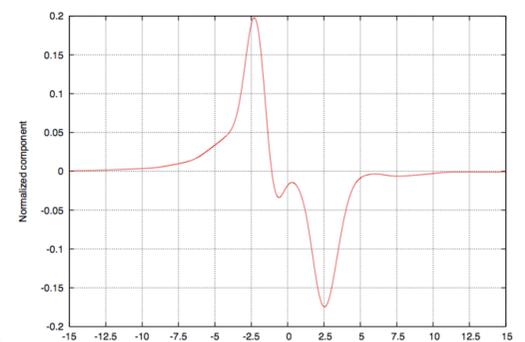


Fig.6 $B_2(u)$

中心位置決定誤差の検証

・実際の観測で得られるであろう疑似星像を用いて中心位置決定法のシミュレーションを行い、中心位置決定誤差を評価した。中心位置決定誤差とは「真の中心位置と求めた中心位置の差」で定義されるものである。

疑似観測量計1000サンプルに対し中心位置を求めたところ、中心位置決定誤差の分散が

$$1\sigma = 0.00028 \text{ pixel}$$

となった。これはNano-JASMINEが3mas(milli arc second)を達成するための要求値である1/600 pixelを達成できている結果となった。