

位置天文観測衛星の撮像中の姿勢変動による

像のずれの影響

京都大学大学院天体核研究室修士2年：藤田翔

[発表内容]

2013年11月に打ち上げられる位置天文観測衛星、Nano-JASMINEの観測において、地球から100pc以内の多くの星に関して各々の星の軌道を出来る限り正確に求める解析手法について発表した。

[目的]

Nano-JASMINEは、衛星に搭載された望遠鏡によって地球の回りの大角度離れた視野角 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の2視野を同時に見る。左右の視野を8秒程度で撮像し、決められたミッション期間繰り返す。検出器に捉えられた星からの光は、光子となって、星像の中心をピークに一定の拡がり'(PSF: point spread function)を持ってフィルム内の平面に分布している。観測データとしては、個々の星の8秒間の撮像時間を通してフレームの各ピクセル(1辺20nmの正方形)内に収まる光子の数が得られる。観測対象となる地球から100pc以内の星々の正確な軌道を掴むためには 5×5 ピクセルで構成された1視野内の光子数から、そのフレーム内を星がどのように動いたのかを100分の1ピクセルの精度で特定しなければいけない。(星が視野内を動くのは衛星が絶えず変動しながら銀河内をサーベイしているからである。)撮像中に姿勢変動するPSFのモデルを考えて、いかにして100分の1ピクセルの精度でその中心(光子のピーク)の軌道を厳密に計算出来るかを考える。

[方法]

1: PSFが動かない場合

実験データそのものはまだ得られないので、PSFを分散が1のガウス関数だと仮定する。2次元座標をそれぞれピクセルの光子点とにおいて、 5×5 ピクセルの平面内に10万個の光子を、中心を適当に定めたガウス関数である確率分布に従って乱数をシミュレーションする。分布した各光子の座標の整数部分を取り出して、各25個のピクセル内に収まった光子数のデータを作成し、その分布図からいかにして100分の1ピクセルの精度で中心を求めるかを検討する。中心の2次元パラメータの値に応じて各ピクセルの光子数は変化するが、その

理論的推定値（平均値）を計算することは可能で、得られた25個の観測データと推定値を比較して最小二乗法により、2次元パラメータの偏微分が0になる値を計算し、それが実際の中心地と比べて誤差が0.01の範囲に収まっているかを計算してみた。

2：PSFを変動させる

続いて、10万個の光子が従う確率分布関数が徐々にある方向へ動いていくシミュレーションを考える。その軌道のオーダーは衛星の設計の段階でわかるので、その軌道は既知として、その出発点(軌道の初期座標)を、2次元パラメータとして、確率密度の重ね合わせより推定理論値を計算し、1と同じように最小二乗法により中心パラメータを計算し、その精度を議論する。

[結果]

・10万個の乱数のシミュレーション結果ということで、理論的にはデータの中心（平均値）が正しく求められれば、ランダム誤差の理論より、推定値より $1/\sqrt{N}$ 程度ずれるだろうと予想されるが、最小二乗法で求めた精度では、その範囲内に含まれているサンプルが多かったのでこの方法は適していたと考えられる。しかし、中心がフレームの外側に近づけば、それだけデータの情報が少なくなって、やや精度が悪くなる。(数値計算上のミスからこの部分は発表には含まれていない。)

・PSFが動く場合は、上で述べたPSFの中心の位置（フレームの外側に近いか中心に近い）の要因に加えて、理論推定値をもとめる際に軌道上で、どれぐらいの間隔でガウス関数を重ね合わせるか、さらにより現実の系に近付けるために軌道のズレ等も考慮しなければいけないので、精度はさらに悪くなるだろうと予期されるが、得られたデータは中心が動かないモデルと比べてむしろ精度は良かった。……これは計算上のミスであり、データは現在計測中である。

[今後の展望]

上で述べた要因も含めて、最小二乗法の精度を計る上でもこの解析結果は非常に有意義である。今後の課題として

・最小二乗法で論じる際に各ピクセル内の光子数の分散を、ポアソン分布と見なした場合の分散と近似して良いか、それとも厳密に二項分布と見なした場合の分散と考えなければいけないかを双方の結果と比べて判断する。

・精度が確認出来た後、得られたデータから、中心（あるいは初期中心）を予想して、最小二乗和の大小より予想点を見比べる「しらみつぶし法」が可能かどうかを確認する。

等が挙げられる。