

小型JASMINEの迷光検討

国立天文台JASMINE検討室 ○鹿島伸悟、丹羽佳人、矢野太平、宇都宮真、郷田直輝、小林行泰、山田良透*、安田進**
(*京都大学、**JAXA)

迷光に対する要求

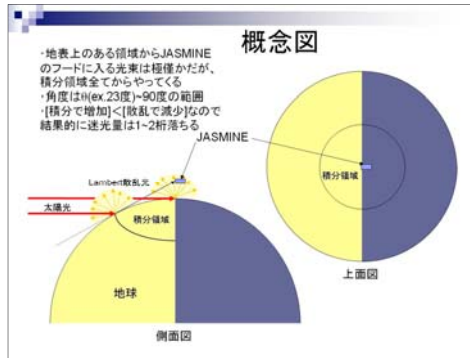
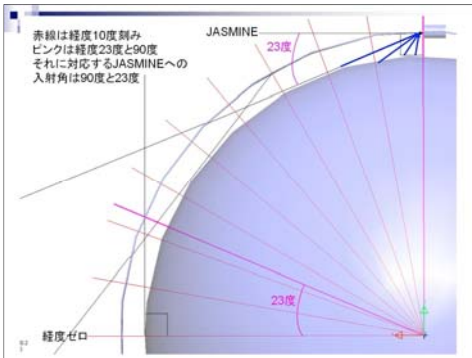
- 小型JASMINEでは、非常に厳しい星像中心決定精度である10 μ asを達成する必要があり、そのためにはノイズとなる迷光(観測光以外の光の混入)を十分に低減させる必要がある
- 10 μ asを達成するための、迷光に対するシステムからの要求は175[photon/sec/pix]である
- 検出器のピクセルサイズは10 μ mなので、上記はエネルギー換算で2.5e-13[W/mm²]となる
- 太陽からのエネルギーフラックスは1.3e2[W/m²]と計算されるため、望遠鏡の口径と検出器の画素数を考慮して、**太陽減光率は2e-11**という凄まじい値となる
- 最小で23度の方向に地球を見るため、当初はこの方向からやってくる太陽光に対して、上記太陽減光率を達成しようとしていたため、非常に長大なフードが必要であった

太陽からのエネルギーフラックス

- 太陽半径 $R_s=6.96e8$ [m]
- 太陽までの距離 $D_s=1.5e11$ [m]
- 太陽を見込む立体角 $\Omega_s=\pi*(R_s/D_s)^2$
- 太陽表面温度 $T_s=5.9e3$ [K]
- 単位振動数あたりの強度 $I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \times \frac{1}{\exp(h\nu/kT)-1}$
- エネルギーフラックスに換算 $F(\nu)=(\nu)^2 \Omega_s$
- 観測波長 λ_n から λ_{n+1} のエネルギーフラックス $F_{sun} = \int_{\lambda_n}^{\lambda_{n+1}} F(\nu) d\nu$ ここで、 $\nu_1=c/\lambda_n, \nu_2=c/\lambda_{n+1}$
- 波長領域を1.1-1.7 μ mとすると $F_{sun}=1.3e2$ [w/m²]

背景

- これまでJASMINEの迷光解析は、迷光源を地球表面で反射された太陽として行ってきた
- これは、その方向に太陽があるとしての解析に相当する
- 地球を反射率100%の反射面と見なしていることも同義
- USNOのJMAPSの情報を得て検討したところ、そうではなく地球表面は散乱面として考えていることが判った
 - 散乱光の為、ある場所からある角度で入射する光量は非常に小さい
 - 見込む地球表面全てから色々な角度の光線が来るため積分する
 - 散乱光の積分であるため、地球アルベドも考慮する
- この考えだと総迷光量は少なくなることが予想されるが、それがどの程度かを数値的に明らかにする必要がある
- これが正しければ、迷光の計算方法自体を見直す必要があり、その結果フードをもっと短小にできる可能性がある

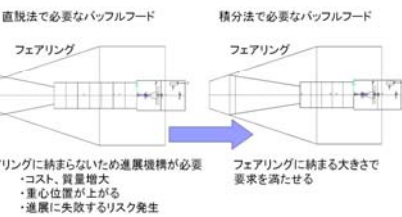


両方法の比較

	直接法(とする)	大小比較	積分法
迷光源	太陽	-	地球表面
地球表面特性	完全反射面	-	完全散乱面
入射光量	太陽定数*フード径	>>>	左記*(d ² /8)*0.3
入射角	θ のみ	<(>?)	$\theta \sim 90$ deg
迷光源範囲	$\pi*(L+d/2)^2$	<<	$0.5*\pi*(L*\cos\theta)^2$
迷光量	1(と規格化)	>	$\sim 10^{-2}$

積分法の効果

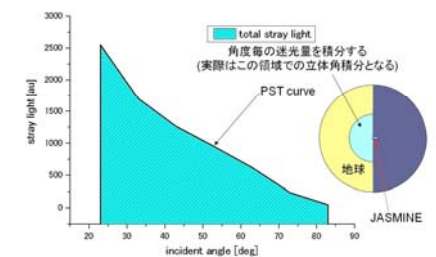
半球反射率5%でも、フェリングに納まる大きさにできた



Point Source Transmission Curve

- 「散乱光の角度積分」で迷光を考える場合に重要になるのがPST(Point Source Transmission) curveである
- これは迷光源の入射角を横軸に、その際の迷光量を縦軸としたグラフである
- 正確にはサジタル方向とメリジナル方向の2方向に対して計算すべきだが、フードの形状が極端に非対称でない場合は、メリジナル方向だけで十分である
- PST curveを使って、衛星フードから見込む地球表面の角度の関数としてこれを積分し、トータル迷光量とするのである
- また、このカーブは周回軌道平均を考える際にも有効である
- JASMINEは運用期間のデータ全てを積算して解析するため、少し迷光量が許容値を超えている期間があっても、総和でクリアしていれば精度を達成できるからである

Point Source Transmission Curve



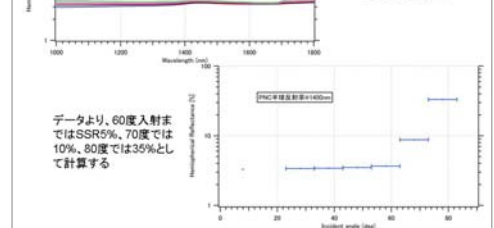
PSTカーブ計算条件; 主要内面処理

- ノミナルはVel-Blackであるが、サンプルが直ぐに入手できずうにないため、次点のベルトロン(京都バール)の値で、現状最終的なPSTカーブを計算することにした
 - 共にカーボンを含んだ素材の植毛であるため、それほど差はないと考えている
 - 実測値のグラフより、以下のように半球反射率(SSR)を読み取った(70度以上は急激に大きくなるが精測不能)
- | 入射角 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SSR(%) | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| 30度植毛換算 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
- 一番下は30度(傾斜)植毛に対する換算半球反射率である
 - LightToolsは補間ではなく丸め込みでSSRを決めるが、差が小さいためこの分割数で十分と考える

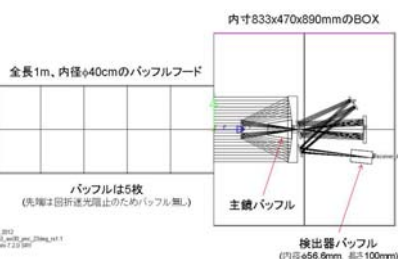
その他の部分の条件

- ベルトロンのSSRは、パッフルフード・主鏡パッフル・検出器パッフルに適用する
- 望遠鏡BOXの内面はブラックカプトンを想定していたが、散乱特性を測定したところ、非常に正反射成分の強いガウスであった
- ガウスだと2桁以上悪くなり仕様が満たさないため、ブラックカプトンの内側(上)にPNCを施すよう変更した
- PNCもSSRは大きい、ほぼランバート散乱である
- PNCのSSRの実測値、及びそこから決めたSSRの入射角特性は次スライド参照
- 望遠鏡BOXの大きさは現状構造設計に準拠する
- 現状未確定の副鏡支持部等の細かいところは未考慮とする

PNCのSSR実測値

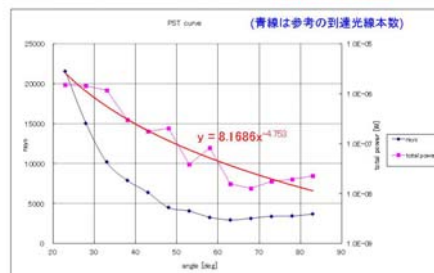


計算に使ったモデル



PSTカーブ; 計算時間約1週間!!

計算誤差は10-30%、平均21%程度、赤線が累乗近似曲線



立体角積分と周回平均

- PSTカーブが求まったので、これを用いて衛星開口部が地球を見込む立体角で迷光量を積分する必要がある
- 当然地球周回上の位置によって積分範囲は変化する、周回平均が許容値以下であることが必要となる
- 季節によっても位置関係が変化するため、全てを考慮した計算はそれほど容易ではなく、今後明確にしたい

