

かに星雲を使ったすざく衛星 X 線 CCD カメラのキャリブレーション

首都大学東京 理工学研究科 物理学専攻 博士前期課程 1 年
市原 昂

平成 23 年 8 月 3 日

1 Abstract

天体の X 線を観測したとき、望遠鏡の幾何学的構造や反射率、また、検出器の検出効率等により、実際に観測される強度は、本来の値とは異なったものになる。そのため、天体の真の物理情報を得るためには、望遠鏡、検出器の正確な X 線特性の把握が必要となる。運用中の衛星における X 線特性の較正は、強度やエネルギースペクトルのよく知られている天体を観測することで行う。

かに星雲は A. Toor, F.D. Seward(1974) らによってその特性が詳しく知られており、多くの衛星の較正に利用されている。すざく衛星の X 線望遠鏡、X 線 CCD カメラの較正でもかに星雲を利用し、高い精度を得てきた。X 線 CCD カメラは、軌道上では荷電粒子の照射によりエネルギー分解能や一様性が劣化する。これを回復するために、すざく衛星の X 線 CCD カメラでは、2006 年より電荷注入という手法を用いている。それによって性能は回復しているが、検出器特性の変化により、今までと異なる Out of Time Events (フレーム転送中に入射する X 線) が検出されるようになった。そのため、かに星雲を使って、その Out of Time Events を考慮したバックグラウンドデータの較正を行った。

また、異なる衛星、検出器でも、同時刻に同じ天体を観測した時には同じ結果が得られなければならない。異なる検出器間での強度の違いを比較することにより、個々の X 線検出器の特性の相互較正を行うことができる。この、クロスキャリブレーションについても紹介する。

2 かに星雲

かに星雲は古くからその特性が良く知られている天体であり、X 線の標準光源とも呼ばれる。また、硬 X 線のエネルギー帯域まで十分に明るいため、広いエネルギー帯域における異なる検出器間での相互較正 (Cross-Calibration) に用いられる。そのスペクトル分布は、 ≈ 2.10 のべき関数で良く表すことができ、2.0-10.0keV のエネルギー帯域で、フラックスの大きさが $2.16 \times 10^{-8} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ になっている (Toor, A., & Seward, F. D. 1974)。

3 すざく衛星搭載 X 線 CCD カメラ

すざく衛星の X 線 CCD カメラ (X-ray Imaging Spectrometer ; XIS) は、X 線望遠鏡 (X-Ray Telescope ; XRT) で集光した X 線を撮像する。XIS の概要を表 1 にまとめる。このデータ解析では XIS0,1,3、HXD nominal position、Full Window モード、0.1sec burst 撮像モードのデータを解析する。

表 1: すざく衛星に搭載されてる XIS の概要

視野	17 .8 × 17 .8
エネルギー帯域	0.2 -12 keV
有効画素数	1024 × 1024
1 画素のサイズ	24 μ m × 24 μ m
エネルギー分解能	130 eV @ 6keV
有効面積	340 cm ² (XIS0,XIS3), 390 cm ² (XIS1) @ 1.5 keV 350 cm ² (XIS0,XIS3), 100 cm ² (XIS1) @ 8 keV
時間分解能	8 s (Normal mode)

4 電荷注入

衛星上で運用される XIS は放射線損傷により、半導体結晶に格子欠損が生じる。その格子欠損が転送中の電荷をトラップし、結果として検出効率、エネルギー分解能の低下が起こる。対策として、XIS は 2006 年 9 月より人工的な電荷注入 (Spaced-row Charge Injection) を行っている。あらかじめ人工的に注入した電荷でトラップを埋め、X 線により生じる電荷を保護するものである。仕組みとして、まず 156msec かけてフレーム中、54 列毎の 19 列に電荷を注入する。その後 100msec の露光 (100msec burst 撮像モード)、そして 25msec かけて全フレームを読み出す。

5 Out of Time Events

電荷注入により XIS の性能劣化は改善されたが、電荷注入には 156msec かかるため、露光時間以外に入射する X 線 (Out of Time Events) が増加した。100msec burst 撮像モードでは、全フレーム中 100msec 分の露光分に対し、 $(25+156)/2=90.5$ msec 分の Out of Time Events が含まれることになり、決して無視できず、これを考慮したデータ解析が必要となる。(図 1 参照)

6 データ解析

2 種類の解析方法で得られたスペクトルを、0.5-10.0keV のエネルギー帯域で、吸収をかけたべき関数 (power-law*wabs in Xspec ver12.7.0) でフィッティングする。また、2.0-10.0keV でのフラックスを比較する。

6.1 解析方法 1

フレーム読み出し中、電荷注入中の 2 種類の Out of Time Events それぞれを含む領域を平均したものをバックグラウンド領域として、ソース領域から引く (図 2 参照)。XIS1 は読み出し方向の関係から、バックグラウンド領域が十分に取れないため、この方法は使えない。

6.2 解析方法 2

Out of Time Events の残ったスペクトルを扱う。その際、本来の露光時間に Out of Time Events の分の露光時間を足して解析を行う (図 3 参照)。XIS0,3 で両方法の比較を行い、解析方法 2 の妥当性を検証する。

7 結果

7.1 XIS0,3 での解析方法 1,2 の比較

Out of Time events を含む方法 2 は、方法 1 に比べスペクトルがやや soft になりフラックスが下がる傾向が見られる。しかし方法毎の指標値からの誤差は 0.04、Flux は 4 % 程度に収まっている (表 2 参照)。またスペクトル分布にも大きな違いは見られない。(図 4,5 参照)

7.2 方法 2 での XIS1 の解析結果

XIS1 により得られたデータの解析結果は表 2、図 6 のようになった。

表 2: 検出器、解析方法毎の指標値、フラックス (in 2.0-10.0keV)

	Reduced chi-squared[d.o.f]	Photon index	flux($\times 10^{-8}$ erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$)
指標値		2.10	2.16
XIS0 (方法 1)	0.9436[39]	2.0839	2.013
XIS0 (方法 2)	1.225 [39]	2.0996	1.955
XIS3 (方法 1)	1.133[39]	2.0653	1.993
XIS3 (方法 2)	1.750 [39]	2.0916	1.917
XIS1 (方法 2)	1.903[655]	2.0711	1.985

8 まとめ

XIS1 についても Out of Time Events を考慮した、キャリアレーションに使えるデータが得られた。方法 1 に比べ、方法 2 でのフラックスの低下は電荷転送中、CCD カメラの空乏層が薄くなり、高エネルギーの X 線を逃しているため、等が考えられる。また方法 1 でもフラックスが指標値が低くなっている。これは、Out of Time Events の影響、かに星雲の時間変動、経年劣化等が考えられる。今後の課題としては、キャリアレーションの本来の目的である観測機器

の現在の正しい状態の把握のため、これらの影響を探るべく、更に多くのかに星雲のデータを解析していく。

9 参考文献

Toor, A., & Seward, F. D. 1974, AJ, 79, 995

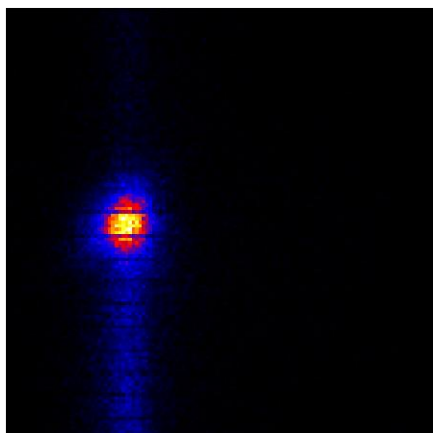


図 1: XIS0 で撮像されたイメージ。点源の上下に読み出し中、電荷注入中に入射した X 線が撮像されている

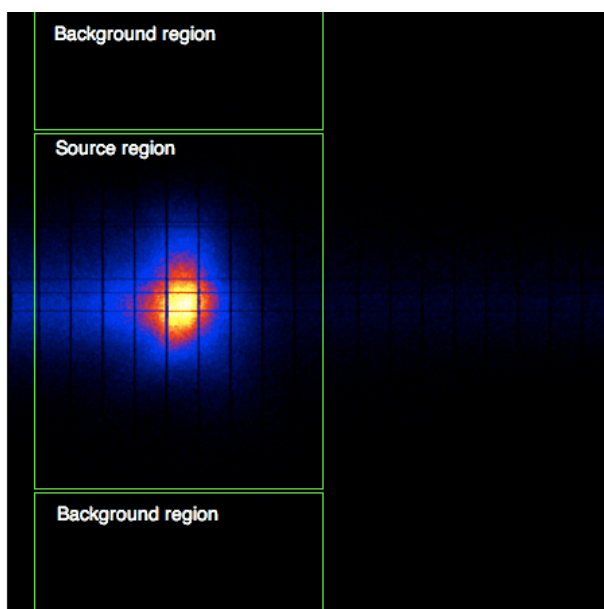
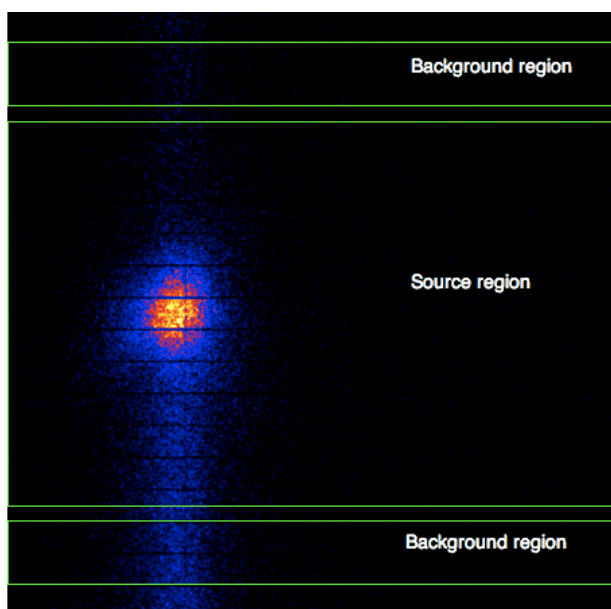


図 2: 方法 1 での XIS3 の Source、Background region。 図 3: 方法 2 での XIS1 での Source、Background region。

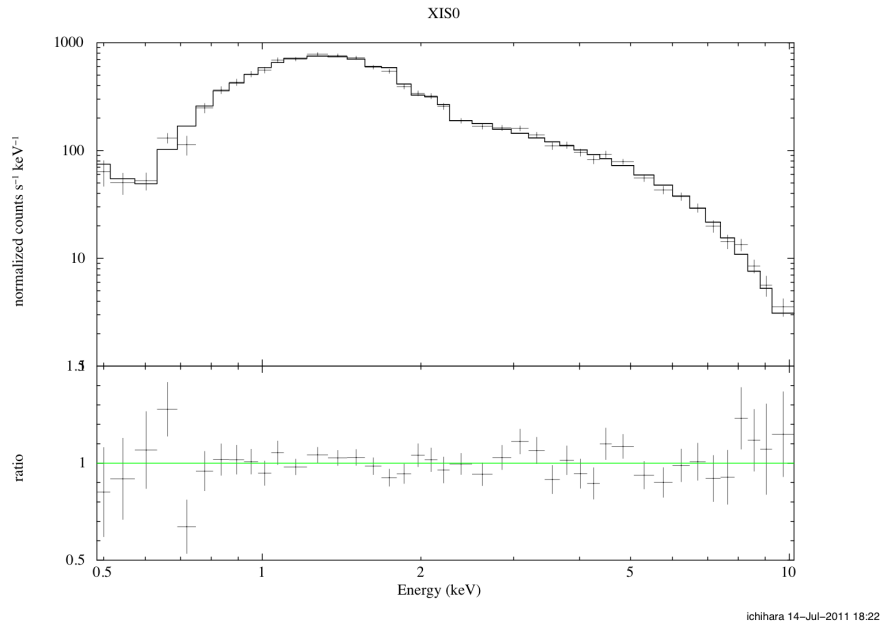


図 4: 方法 1 での XIS0 のスペクトル (0.5-10.0keV)

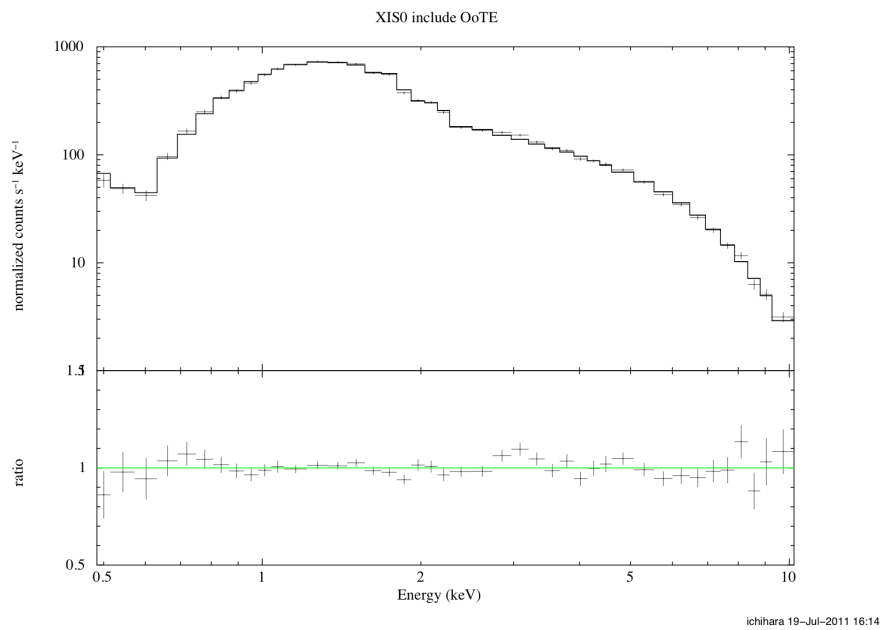


図 5: 方法 2 での XIS0 のスペクトル (0.5-10.0keV)

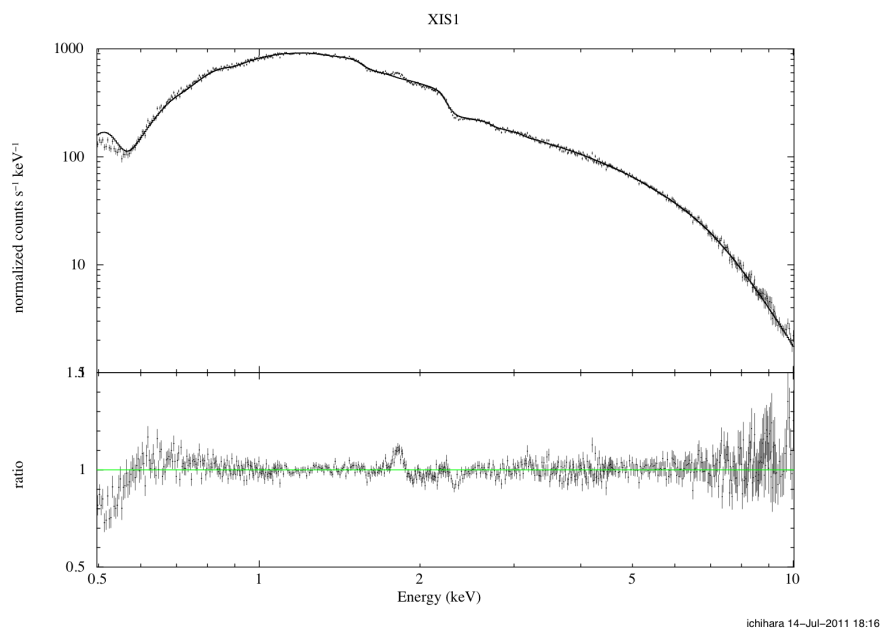


図 6: 方法 2 での XIS1 のスペクトル (0.5-10.0keV)