

Astro-E2 搭載 X 線 CCD(XIS) BI チップにおける 新しい解析法の構築および応答関数の作成

山口 弘悦、中嶋 大、松本 浩典、鶴 剛、小山 勝二 (京都大理)、松浦 大介、宮内 智文、
勝田 哲、東海林 雅幸、並木 雅章、鳥居 研一、林田 清、常深 博 (大阪大理)、
他 XIS チーム

1 FI チップと BI チップ

Astro-E2 には 4 台の CCD カメラ (XIS) が搭載されるが、そのうち 1 台は日本の X 線天文衛星では初めてとなる裏面照射型 (BI) チップが採用される。従来の表面照射型 (FI) チップは電極の近くで X 線が吸収されやすいためエネルギー分解能に優れるものの、低エネルギーの X 線にとっては前面の電極層や絶縁層が遮蔽物となるため検出効率が低下するという問題点もあった。これを改善するのが X 線を電極の反対側から照射させる BI チップである。BI は既に Chandra や XMM-Newton にも搭載されているが、XIS/BI は低エネルギー X 線に対するエネルギー分解能をこれらよりも大幅に向上させることに成功している。

2 Calibration

地上較正試験は京都大と大阪大で行ない、それぞれ > 1.5 keV の高エネルギー側と < 2 keV の低エネルギー側を担当した。京都大では X 線発生装置からの一次 X 線を Al, Cl, Ti, Fe, Zn, Se といった二次ターゲットに照射し、そこからの特性 X 線を XIS で検出することで単色の X 線に対する応答を調べるといった方法を取っている (図 1)。大阪大のキャリブレーション方法については勝田 (大阪大理) の講演を参照。

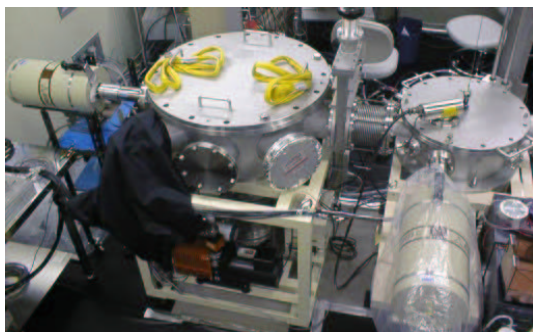


図 1: 京都大学キャリブレーションシステム

3 イベント検出法

基本的には ASCA/SIS と同じ Grade 法を用いてイベントを検出する。波高値 (PH) がイベント閾値を越えたピクセルを中心として周囲 3×3 ピクセル (正確には 5×5 ピクセルの情報も用いる) の PH がスプリット閾値 (split th.) を越えたか否かを判定し、そのパターンから図 2 のように Grade を定義して X 線イベントとバックグラウンドイベントを区別する。この中で X 線イベントと見なされるのは Grade 0, 2, 3, 4, 6 である。X 線イベントであれば、中心ピクセルの PH に split th. を越えたピクセルの PH を加えたものをそのイベントの合計波高値 (PHA) と定義する。

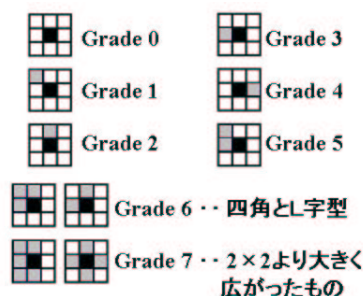


図 2: Grade の定義。波高値が split th. を越えたピクセルを灰色で示す。

4 split th. の最適化と新しい解析法の構築

Grade 法を用いる際に重要となるのが、split th. の大きさである。この値が小さすぎると Grade 7 の割合が増加するため検出効率が低下し、逆にこの値が大きすぎると周辺のピクセルに洩れ出した電荷を見落とす割合が増えるためエネルギー分解能が悪化する。BI の最大の特長は低エネルギー X 線の吸収効率が優れることなので、この特長をできる限り活かすべく、低エネルギーのイベントを無駄なく、かつ正確に検出できる split th. を探したところ、7 ADU で

あることがわかった。

次に図3に各エネルギーのイベントに対して split th.=7 でグレード判定を行なった結果として得られた Grade 分岐比のエネルギー依存性を示す。これを見ると明らかに高エネルギーに行く程 (バックグラウンドと見なされる) Grade7 の割合が高くなるのがわかる。この結果は高エネルギーのイベントに対しては split th.=7 は小さすぎることを示唆している。

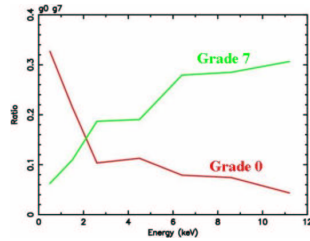


図 3: Grade 分岐比のエネルギー依存性

ここまでの結果からわかる BI の特徴を端的に述べると、電荷雲の広がり幅は低エネルギーイベントの方が大きいものの、洩れ出る電荷量自体は高エネルギーイベントの方が大きいということである。このような性質を持つ以上、もはや従来の FI で用いられてきたような split th. を一定にした Grade 判定法では効率的なイベント検出ができない。そこで BI では入射 X 線のエネルギーによって split th. を可変にする方法を採用する。イベント毎の split th. は次式をもとに決定する。

$$\text{split th. [ADU]} = 2.2075 \times \log_{10} E_x [\text{keV}] + 10.359$$

但し最低値は split th.=8 である。また入射 X 線のエネルギーは一旦 split th.=8 で決定した仮の PHA から概算するものとする。

可変 split th. 方式の導入によって、エネルギー分解能をほとんど悪化させることなく高エネルギーイベントに対する検出効率をおよそ 40% も向上させることに成功した。

5 応答関数

生データに電荷洩れ補正 (勝田講演参照) を適用し、前節で述べた可変 split th. 方式の Grade 法によって取得したスペクトルから応答関数を作成する。まずはゲインとエネルギー分解能を図4に示す。 $E_x [\text{keV}]$ と PHA [ADU] の関係は

$$\text{PHA} = 255.103 \times E_x - 1.973$$

また、 ΔE [eV; FWHM] と E_x の関係は

$$\Delta E = 8.576 \sqrt{12.162 + 43.151 E_x - 0.856 E_x^2}$$

と求まった。

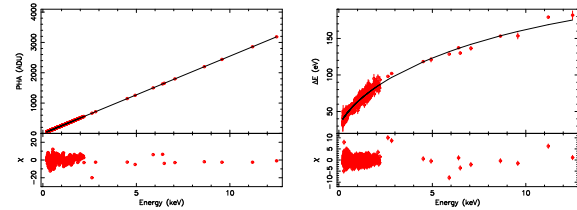


図 4: (左) ゲイン (右) エネルギー分解能

次に、具体的な line profile、すなわち単色の X 線が入射した際に得られる XIS のスペクトルを決定する。レスポンスのモデルとしては図5のような 6 成分モデルを考える。光電吸収によって発生した電荷が全て集められるほとんどのイベントは main peak に属するが、この他にも split th. 以下の電荷が周辺ピクセルに洩れたイベントからなる sub peak、表面の不感層での部分吸収による constant などの成分が存在する。地上キャルのデータを用いて、各成分の強度比のエネルギー依存性を求め、その結果をもとに作成した応答関数を、一例として Zn のスペクトルに適用したものを図6に示す。図の通り現時点ではかなりの精度でデータを再現できている。今後は応答関数に正確な物理的解釈を与えてさらにモデルの精度を向上させ、打ち上げ後の性能の経年変化に迅速に対応していくことが重要な課題となる。

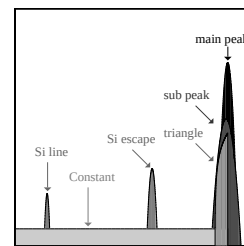


図 5: 応答関数 (6 成分モデル)

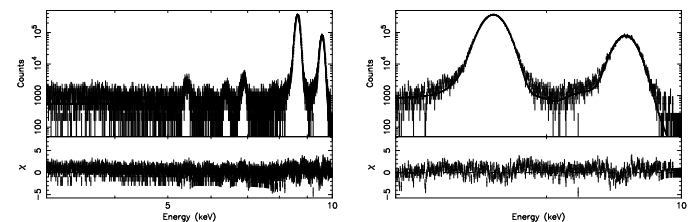


図 6: Zn のスペクトルに応答関数を適用