

狭視野型軟線コンプトンカメラの感度の見積もり

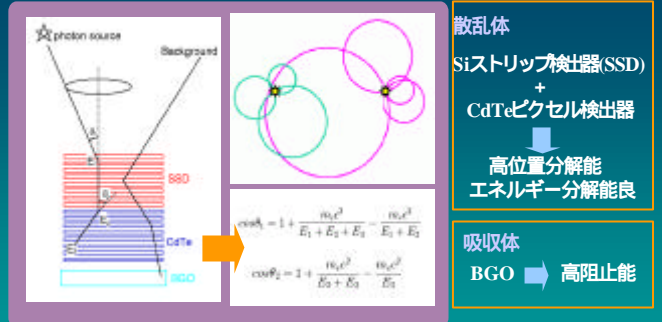
川莖直美、阿部由紀子、中本達也、川添哲志、深澤泰司(広大理)、村上未生、国分紀秀、牧島一夫(東大理)、三谷烈史、中澤知洋、高橋忠幸(ISAS)、寺田幸功(理研)、田代信(埼大理)、能町正治(阪大)、田島宏康(SLAC)

1. Introduction

宇宙硬X線線は、多くの謎が残る超新星爆発や銀河団からの非熱的放射などの現象に関して重要な情報を含んでいる。しかし、50 ~ 1 MeVのエネルギー領域は、コンプトン散乱が支配的のために感度の向上が遅れている。このエネルギー帯をカバーする位置検出型センサーとして期待されているのが**コンプトンカメラ**であり、**コンプトン幾何学**を用いて、線の到来方向とエネルギーを高精度で求めることにより、**バックグラウンドを除去**することができる。また、2次元情報が得られるため**イメージングも可能**である。

我々は、世界に先駆けて**Siストリップ検出器**を用いた**狭視野型コンプトンカメラ**を提案し、高エネルギー分解能半導体検出器を用いてその実証を図っている(T. Takahashi et al., 2003)。狭視野のアクティブシールドをもつAstro-E搭載硬X線検出器HXDは、従来の感度を一桁向上すると期待されているが、これをさらに向上させるのが**狭視野型コンプトンカメラ**である。そこで、HXDの放射化バックグラウンド推定の技術を活かして、Geant4のシミュレーションにより**バックグラウンドレベルを求め**る手法を確立するとともに、**予想される感度を見積もった**。

2. コンプトンカメラ



コンプトン幾何学を用いて、入射線の到来方向を円弧内に制限できる。複数の線について円弧を求め、その交点を求めることにより線の位置決定が可能となる。円弧の大きさは、検出器のエネルギー分解能で決まる。

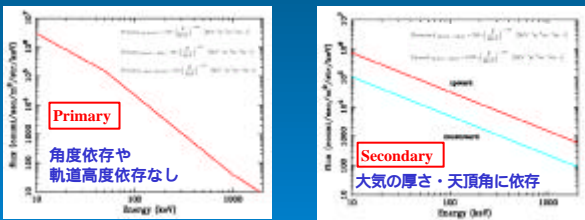
3. バックグラウンド

衛星軌道でのバックグラウンドとなるものには、主に荷電粒子によるものと線によるものに分けられるが、今回はコンプトンカメラのように、数10 keV ~ 数10 MeVの観測を考える時に重要となってくる**線バックグラウンド**を見積もった。起源としては、以下の3つが挙げられる。

1. 遠方天体起源の線
 2. 地球の大気と荷電粒子の相互作用により生じる線
 3. (SAA)中の荷電粒子による放射化バックグラウンド
- 宇宙線バックグラウンド

宇宙線バックグラウンド

1は宇宙線バックグラウンドの一次(primary)成分とよばれ、主にAGN起源であると考えられている。2は地磁気にトラップされたprimaryの荷電粒子が大気と相互作用することで線を放射することに由来する二次成分(secondary)。



放射化バックグラウンド

陽子が検出器を構成する原子核に衝突すると放射化核種が生成され、これらが崩壊するときに放射する線がバックグラウンドとなる。

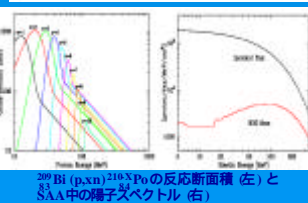
今回は数100 MeVの陽子が入射した場合に支配的となる(p, xn)反応のみを考える。一日の変動は概して半減期が一日より長い核種を選定した。

それぞれの核種の生成数は、SAA中の陽子 flux (R/E) と半経験的断面積 (σ) を用いて以下の式で与えられる。(ビーム試験により半経験的値と実測値が2倍以内で一致することを確認済み)

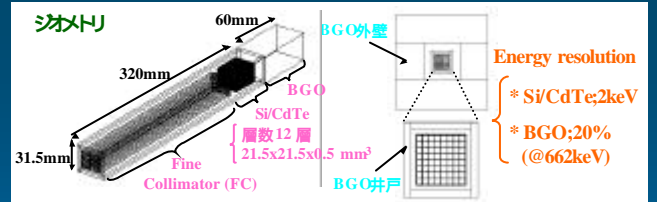
$$N(X) = \int |E| \cdot S \cdot n \cdot l \cdot \sigma \cdot \Phi \cdot dt$$

n: 原子数密度
S: 面積, l: 厚み

| 放射化核種 | 生成式 | 半減期 | 崩壊モード | 半減期 |
|-------------------|---|---------|----------------|---------|
| ²¹⁰ Pb | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Pb | 138.4 d | β ⁻ | 138.4 d |
| ²¹⁰ Bi | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Bi | 5.01 d | β ⁻ | 5.01 d |
| ²¹⁰ Po | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Po | 138.4 d | α | 138.4 d |
| ²¹⁰ At | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ At | 8.1 h | α | 8.1 h |
| ²¹⁰ Rn | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Rn | 3.82 d | α | 3.82 d |
| ²¹⁰ Ac | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Ac | 8.1 h | β ⁻ | 8.1 h |
| ²¹⁰ Th | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Th | 141 d | α | 141 d |
| ²¹⁰ Pa | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ Pa | 17.4 d | β ⁻ | 17.4 d |
| ²¹⁰ U | ²⁰⁹ Bi + p → ²¹⁰ U | 4.468 d | α | 4.468 d |



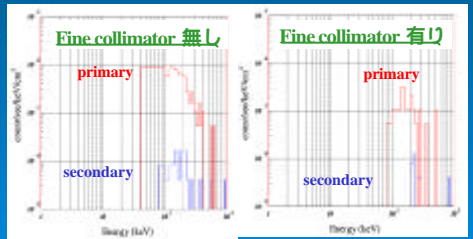
4. シミュレーション



宇宙線バックグラウンド

以下の順にselectionをかけてバックグラウンドを除去し、残ったバックグラウンドをFine Collimatorの有無で比較した。

1. BGO hit イベント
 2. 2回散乱以外のイベント
 3. 天頂角2°に入らないイベント
- BGOが散乱に減少



Fine Collimatorにより数100 keV以下でバックグラウンドが一桁ほど減少

放射化バックグラウンド

1. BGOにhitしたものは除去
~ 10⁻⁴ c/sec/keV/cm²
2. 2回散乱以外のイベントは除去
(イベントのみならぬ)
3. コンプトン再構成をおこなない天頂角 ± 2°に入らないものは除去
~ 10⁻² c/sec/keV/cm²

コンプトン再構成により~3%程度に激減

5. 感度の見積もり

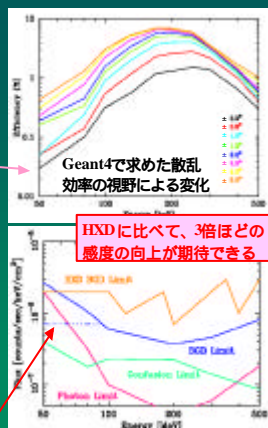
感度(検出限界)は、今回見積もったバックグラウンドを含めて、以下の3つの要因で決まってくる。

1. Background limit; バックグラウンドの統計的ゆらぎ
2. Photon limit; 天体とバックグラウンドのシグナル比(S/N比)
3. Confusion limit; 検出限界より暗い天体からの混入限界

BGD limitは、シミュレーションで得られたバックグラウンドを用いて、以下の式から見積もることができるが、実際に感度を見積もる際には下の仮定をしている。

視野は4° x 4° (4 x 4の16ユニットで観測時間は10 msec)
・宇宙線放射化バックグラウンドは ~ 10⁻² c/s/keV/cm²
・全入射イベントに対するコンプトンイメージング効率率はGeant4で求めたエネルギー依存をもつ

100keV以下では、光電吸収イベントを用いて、点線のように感度が上がる。これは、CdTeの上層部でのみ吸収されることを利用してBGDを落とすことができるためである。



6. まとめ

コンプトンカメラ1ユニットをGeant4で再現し、シミュレーションで宇宙線バックグラウンド・放射化バックグラウンドを見積もり、BGD limitによる感度(検出限界)を計算した。

従来の感度を一桁上回るHXDに比べ、さらに、3倍程度の感度の向上が見込める。

いくつかの条件を仮定しているため、今後の詳細な解析が必要

references

Tadayuki Takahashi, Kazuo Makishima, Yasushi Fukazawa, Motohide Kokubun, Kazuhiro Nakazawa, Masaharu Nomachi, Hiroyasu Tajima, Makoto Tashiro, Yukikatsu Terada, New Astronomy 2003 in press

Tadayuki Takahashi, Kazuhiro Nakazawa, Tuneyoshi Kamae, Hiroyasu Tajima, Yasushi Fukazawa, Masaharu Nomachi, and Motohide Kokubun SPIE vol 4851, pp. 1228-1235, 2003

Mio, M., Murakami, Yoshihito Kobayashi, Motohide Kokubun, Isao Takahashi, Yum Okada, Madoka Kawaharada, Kazuhiro Nakazawa, Shin Watanabe, Goro Sato, Manabu Kouda, Takehumi Mitani, Tadayuki Takahashi, Masaya Suzuki, Makoto Tashiro, Satoshi Kawase, Masaharu Nomachi, and Kazuo Makishima IEEE vol 50, NO.4, 2003

Next衛星のHXDとSGDの感度見積もりの資料 中澤 et al., 2003