

チャンドラ衛星による超新星残骸 RX J1713.7 - 3946 北西領域のスペクトル解析

荒川 真範 (立教大学大学院 理学研究科)

Abstract

RX J1713.7-3946 は距離 1 kpc、年齢 1600 years 程度の若いシェル型の超新星残骸である。この天体からシンクロトロン放射による非熱的 X 線があすか衛星で観測され、高エネルギー電子の存在が示された。すざく衛星による観測から、シンクロトロン放射は 10 keV でカットオフが存在し、RX J1713.7-3946 の衝撃波における磁場の乱れが非常に大きいことが示された。また、チャンドラ衛星による解析では RX J1713.7 - 3946 が 1 年スケールの X 線強度変動を持つことが発見された。これは加速された電子によるシンクロトロン冷却と考えられ、磁場が 1 mG 程度まで増幅されていることが示唆されている。

本研究では 2006 年から 2011 年の間で我々がチャンドラ衛星によって行われた RX J1713.7-3946 の北西領域の 5 回の観測データを用いて、残骸の北西領域を 40 分割しスペクトル解析を行った。今回は、すざく衛星によるスペクトル解析によって確認されている 10 keV でのカットオフを各領域で検証した結果について報告する。

1 Introduction

宇宙空間には 10^8 eV から 10^{20} eV 程度のエネルギーを持つ高エネルギー粒子、宇宙線が存在し、折れ曲がりがある冪関数の分布をしている。宇宙線のエネルギー分布を図 1 に示す。このことから宇宙線は非

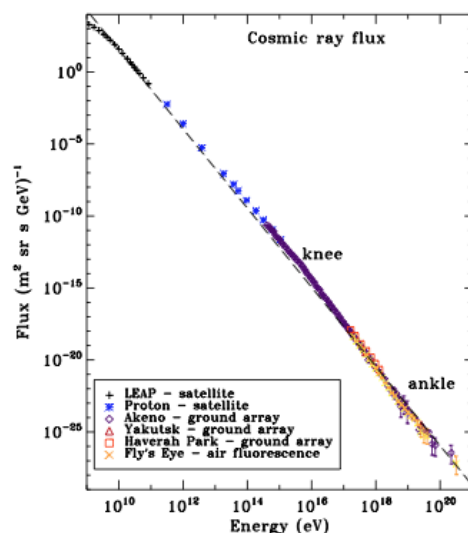


図 1: 宇宙線のエネルギー分布 (E.A. Helder et al. 2012)

熱的な加速機構をもっているはずである。しかし、宇宙線がどこで、どのように加速されているのかということは未解明のままである。現在では 10^{15} eV 程度 (Knee 領域) までの加速場所として超新星残骸が、加速機構として超新星残骸が作る衝撃波を宇宙線が磁気波動と散乱し、衝撃波面を往復することで加速するメカニズム、衝撃波統計加速によって加速されていると考えられている。実際、あすか衛星によって SN1006 の Rim 領域において 10 TeV 程度まで加速された電子によるシンクロトロン放射 X 線が発見され (Koyama et al 1995)、超新星残骸のつくる衝撃波が宇宙線の加速源となっていることが明らかになった。

本研究で解析する RX J1713.7-3946 (以下 RX J1713) は直径約 16 pc、距離約 1 kpc、年齢約 1600 years の若い超新星残骸であり、あすか衛星によってシンクロトロン放射 X 線が観測された (Koyama et al. 1997)。また、フェルミ衛星によって GeV ガンマ線、H.E.S.S. 望遠鏡によって TeV ガンマ線が観測されており、超新星残骸における宇宙線加速を検証するうえで非常に重要な天体である。X 線領域における観測では、すざく衛星による RX J1713 の観測でシンクロトロン放射 X 線が 10 keV 程度でカットオフ

が存在することが確認された (Tanaka et al. 2008)。これは磁場の乱れを表すボームパラメータが 1 に非常に近いことを意味し、磁場の乱れが非常に大きく、電子の加速効率が非常に良いことを示している。また、チャンドラ衛星による観測では RX J1713 の北西領域において 1 年スケールで flux の強度変動が確認された。これはシンクロトロン放射による加速、及び冷却の時間スケールが 1 年程度であると考えられ、磁場の強度が 1 mG 程度までの増幅が示唆された (Uchiyama et al. 2007)。

本研究では、チャンドラ衛星の $0.5''$ という優れた空間分解能を利用し、すざく衛星で確認された RX J1713 北西領域における cut-off がより小さな領域においても存在するかを検証した。

2 Observations

チャンドラ衛星は $0.5''$ という優れた空間分解能を持つ斜入射型 X 線望遠鏡 (HRMA)、焦点面検出器として CCD カメラ (ACIS)、マイクロチャンネルプレート (HRC) が配置されている。本研究では ACIS による観測データを使用した。また、チャンドラ衛星による RX J1713 北西領域における 5 度の観測データを使用し、データの概要を表 1 に示す。

表 1: 解析に使用した使用したチャンドラ衛星による観測データ

ID	観測日	exposure time [ks]
6370	2006-05-03	29.77
10090	2009-01-30	28.40
10091	2009-05-16	29.65
10092	2009-09-10	29.21
12671	2011-07-01	89.87

チャンドラ衛星のもつ、高い空間分解能は空間的に詳細な解析を可能にする。そこで RX J1713 北西領域を 40 分割して解析を行った。5 つの観測データを重ねあわせ、40 領域に分けた fluximage を図 2 に示す。

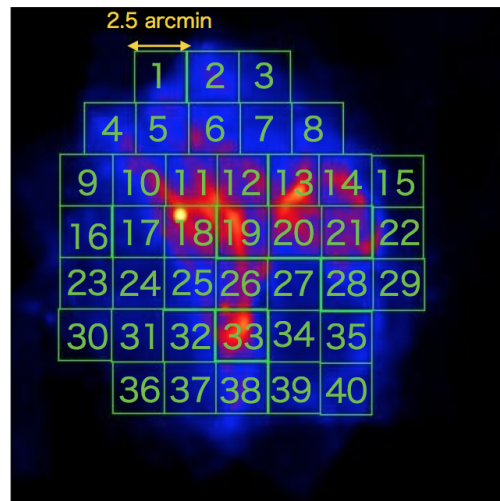


図 2: チャンドラ衛星による 5 度の RX J1713 の北西領域の観測を重ねあわせた fluximage。緑色のボックス ($2.5' \times 2.5'$) は本研究においてスペクトル解析をした領域を表し、エネルギー範囲は 0.7 keV から 2.0 keV である。

3 Analysis

解析するにあたり、CIAO version 4.6、データの較正に CALDB version 4.6.1 を使用し、スペクトル解析には XSPEC version 12.8.1g を用いた。また、スペクトルを足しあわせる際に、CIAO のスクリプト、combine_spectra を使用した。

本研究ではチャンドラ衛星で観測された RX J1713 北西領域を 40 分割し、各々の領域でスペクトル解析を行った。その際、5 回分の観測データを合わせている。モデルは吸収 (wabs) と powerlaw を使用し、エネルギー領域を 0.7 keV から 2.0 keV、2.0 keV から 10 keV の 2 つに分けて fitting を行った。ただし、2.0 keV から 10 keV のエネルギー領域では吸収はほとんど起きず、吸収量を表すパラメータである水素柱密度の値が定まらない可能性がある。そこで、2.0 keV から 10 keV のエネルギー領域における fitting の際に、0.7 keV から 2.0 keV での fitting で得られた水素柱密度の値を fix して fitting を行った。

RX J1713 は銀河面内に存在するため、観測ごとの天体外の領域をバックグラウンドとして抽出した。ID10090、ID10092、ID12671 では ACIS-I 領域から選び、ID6370、ID10091 では ACIS-I 内で十分なバ

ックグラウンド領域を取ることができなかったため、ACIS-S 領域からバックグラウンドを抽出した。fitting によって得られたスペクトルの一例として領域 20 におけるスペクトルを図 3 に示す。

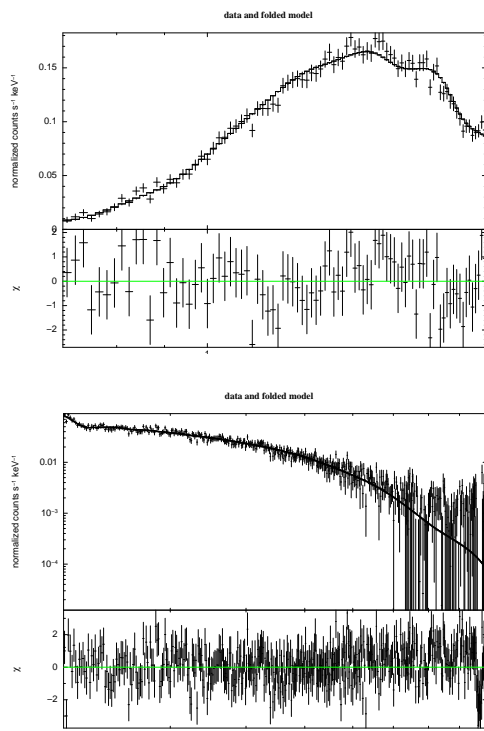


図 3: 領域 20 で得られたスペクトル。5 回の観測データを足しあわせてあり、モデルは wabs と powerlaw でバックグラウンドは引いている。上図がエネルギー領域 0.7 keV から 2.0 keV でのスペクトル、下図がエネルギー領域 2.0 keV から 10.0 keV でのスペクトル。

4 Result and Discussion

powerlaw の指数部分である、光子指数 Γ は低エネルギー側で flat、高エネルギー側で steep になることが期待される。そこで、エネルギー領域が 0.7 keV から 2.0 keV での fitting の結果得られた光子指数の値 $\Gamma_{0.7\sim 2.0}$ と 2.0 keV から 10 keV での fitting で得られた光子指数の値 $\Gamma_{2.0\sim 10}$ の比 ($\Gamma_{0.7\sim 2.0}/\Gamma_{2.0\sim 10}$) をとったグラフを図 4 に示す。これより低エネルギー側 (0.7 keV から 2.0 keV) の光子指数より高エネルギー側 (2.0 keV から 10 keV) の光子指数の方が大きくな

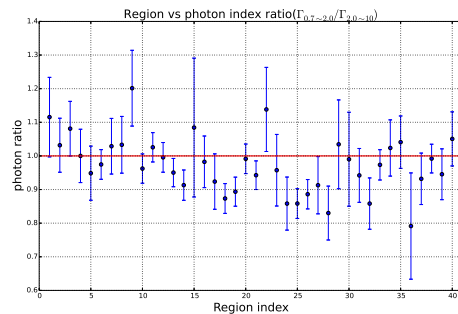


図 4: 横軸が領域番号、縦軸がエネルギー領域 0.7 keV から 2.0 keV と 2.0 keV から 10 keV での光子指数の比。

る傾向が確認できる。

一方で、40 領域において Spectral Energy Distribution (SED) を作成したところ、複数の領域でスペクトルが flat になっていることが分かった。スペクトルの一例として領域 2 と領域 12 におけるスペクトルを図 5 に示す。この結果は 2008 年にすぎく衛星による観測から得られた 10 keV 付近でカットオフが生じるという結果と異なっている。これはすぎく衛星の観測で得られた RX J1713 北西領域全体での結果が空間ごとに異なる可能性を示唆している。今後は解析する領域をより細分化し、詳細な解析を行っていく。

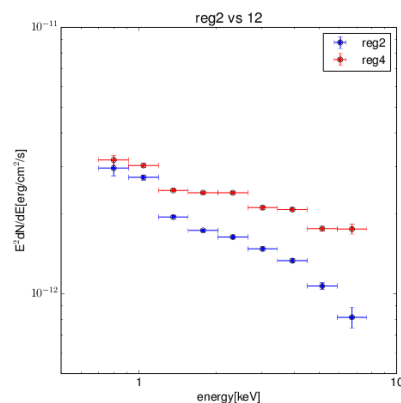


図 5: 領域 2 と領域 12 における SED。SED を作成する際に光子指数は 2.5 で fix し、水素柱密度の値は 0.7 keV から 2.0 keV での fitting で得られた値を用いた。

Reference

Koyama, K., et al. 1995, *Nature*, 378, 255

Koyama, K., et al. 1997, *PASJ*, 49, L7

Uchiyama, Y., et al. 2007, *Nature*, 449, 576

Tanaka, T., et al. 2008, *ApJ*, 685, 988