

セイファート I 型活動銀河核 IC4329A の新たな硬 X 線成分とスペクトル 描像

三宅 克馬 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

セイファート I 型活動銀河核、IC4329A は「すぎく」により 2007 年 8 月に 5 回、2012 年に 1 回観測されており、2–10 keV のフラックスはおよそ $7.0 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。これらの観測間や一観測内で、差分スペクトル法と Noda et al. (2013) の成分分解手法を適用したところ、変動成分は形を変えずに強度のみ変動し、その光子指数は $\Gamma \sim 2.1$ であることが明らかになった。しかし、時間平均スペクトルは $\Gamma \sim 2.1$ の PL 成分とその反射成分だけでは再現できず、 $\Gamma \sim 1.5$ のよりハードな一次成分を必要とすることがわかった。この成分は、 $\Gamma \sim 2.1$ の PL に比べて変動のタイムスケールが長く、強い吸収を受けており、それに伴う鉄 K エッジ ($\sim 7.2 \text{ keV}$) も見られる。IC4329A において、この描像は数百 ksec から数年という異なるタイムスケールでも成り立っている。以上のように、IC4329A の一次 X 線放射は、実は 2 つの異なる連続成分から成ることがわかった。これは他のセイファート銀河でも成り立つと考えられる。

1 Introduction

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nuclei) の X 線スペクトルは、降着円盤からの紫外線光子がコロナで逆コンプトン散乱を受けて生成される光子指数 $\Gamma \sim 2$ の Power-Law (PL) 型の一次放射成分、その反射によって生じる鉄輝線や硬 X 線ハンプなどの二次成分から成ると考えられている (Fabian and Miniutti, 2005)。しかし、観測されるスペクトルは連続成分が主体で構造に乏しいため、様々な理論モデルによって同一のスペクトルを説明できてしまい、その解釈は一意に定まっていない (Cerruti et al. 2011)。特に「一次放射は単一の成分である」という仮定は、観測的には確かめられていない。

Noda et al. (2011, 2013) は、MCG-6-30-15 や NGC 3516 などの、複数の AGN の X 線スペクトルにおいて、二つの異なる一次放射成分が存在することを見出した。これが他の AGN でも同様に成り立つのか否か、二つの手法によって検証する。

セイファート I 型 AGN、IC4329A は時間変動が大きく (Perola et al. 1999)、赤方偏移 $z = 0.016$ (Willmer et al. 1991) で、質量は $1.3 \times 10^7 M_{\odot}$ (Markowitz et al. 2009) である。この天体は「すぎく」によって 2007 年 8 月に 5 回、2012 年 8 月に 1

回観測されている。図 1 に示したように、軟 X 線帯域で大きな時間変動が受かっており、2–10 keV のフラックスは、およそ $7.0 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。

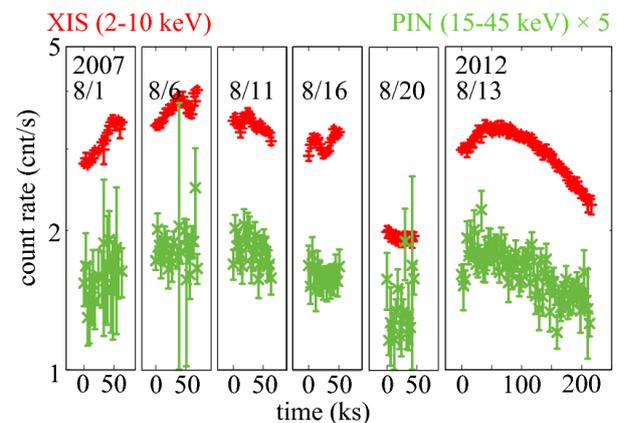


図 1: IC4329A の「すぎく」ライトカーブ。XIS-FI (赤、2–10 keV)、HXD-PIN (緑、15–45 keV)。HXD-PIN のカウントレートは 5 倍にしてある。

2 Observations and Data Reduction

我々は X 線衛星「すざく」による IC4329A の公開データを用いてスペクトル解析を行った。各観測の基本的なデータは表 1 に記してある。

用いた検出器は、XIS 0、XIS 3、HXD-PIN の三つで、XIS 0 と 3 のデータは合計して XIS FI として扱う。XIS FI のソースイベントは半径 $3'$ の円形領域から、バックグラウンドイベントは $4.8' - 7.8'$ の円環領域から取得した。HXD-PIN の Non X-ray Background と Cosmic X-ray Background は、それぞれ Fukazawa et al. (2009)、Boldt et al. (1987) の手法によって推定した。

表 1: 「すざく」による IC4329A の観測。

観測日	露光時間	XIS カウント数
2007/08/01	24 ks	1C
2007/08/06	25 ks	1C
2007/08/11	27 ks	1C
2007/08/16	24 ks	1C
2007/08/20	30 ks	1C
2012/08/13	118 ks	1C

3 Data Analysis

3.1 Light Curves and Spectra

図 1 にバックグラウンド差し引き後の XIS FI と HXD-PIN のライトカーブを記した。2 – 10 keV のカウントレートは、2007 年の 5 観測の間でおよそ 2 倍、2012 年の一観測内でおおよそ 1.5 倍の変動を示した。2012 年の観測のうち、36 – 72 ks を ‘high phase’、180 – 216 ks を ‘low phase’ と定義する。

図 2 にバックグラウンド差し引き後の時間平均スペクトルを、 $\Gamma = 2$ の PL モデルとの比として示した。静止系で 6.4 keV と 7.2 keV の位置に、それぞれ Fe $K\alpha$ 線と Fe K エッジが見られる。鉄輝線や硬 X 線ハンプの強度は各観測の間で大きくは変動していない。

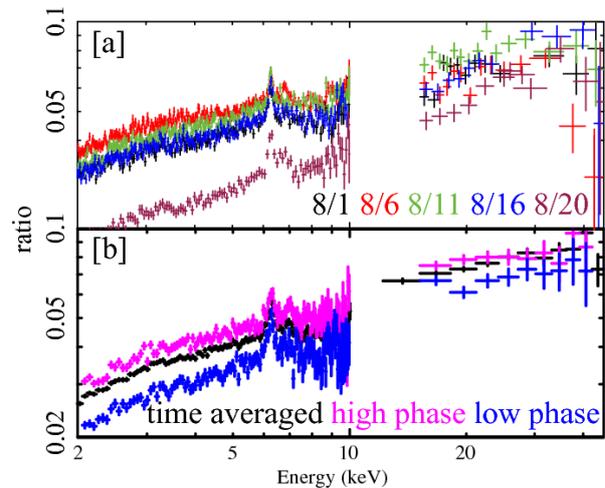


図 2: IC4329A の「すざく」スペクトル。[a] 2007 年の各観測の時間平均スペクトル。[b] 2012 年の時間平均スペクトル (黒) と、high (マゼンタ) / low (青) phase のスペクトル。

3.2 Difference Spectra

変動を担う成分を抽出するため、2007 年の各観測の間と、2012 年の観測内の high phase と low phase の間で、差分スペクトルを作成した。得られた差分スペクトルは、吸収を受けた PL モデル $wabs * powerlaw$ でよく表された。2007 年の様々な観測の差分から、光子指数 $\Gamma = 2.1 \pm 0.1$ を得た。2012 年の high phase と low phase の差分からは、 $\Gamma = 2.0 \pm 0.1$ が得られた。

変動成分として $\Gamma = 2.1$ の PL を、不変成分としてその反射 (Abundance は 1 に固定) を考慮したモデル、 $wabs[0] * (powerlaw[0] + pexmon[0])$ を使用したところ、2007 年の各観測の時間平均スペクトルを再現することはできなかった ($\chi^2/d.o.f. \geq 2.6$)。そこで図 3 のように、 $wabs[1] * powerlaw[1]$ という成分を新たに加えた結果、フィットは $\chi^2/d.o.f. \leq 1.4$ と大きく改善された。この新たな PL は $\Gamma = 1.3 \pm 0.1$ とよりハードで、水素柱密度 $N_H = (5 \pm 1) \times 10^{23} \text{ atoms cm}^{-2}$ と強い吸収を受けている。またこの成分は 7.2 keV に Fe $K\alpha$ edge が見えているが、その他の放射構造は見られない。

同様に、2012 年の時間平均スペクトルも、新たな PL を入れることで、 $\chi^2/d.o.f.$ は 7.2 から 1.7 に改

善された。このときのパラメータは $\Gamma = 1.3 \pm 0.2$ 、 $N_H = (5 \pm 1) \times 10^{23} \text{ atoms cm}^{-2}$ であった。

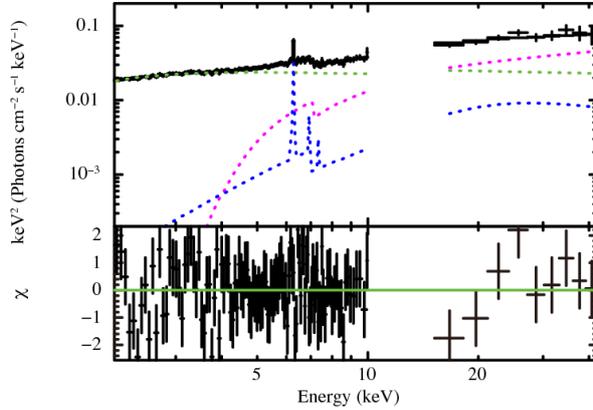


図 3: 2007/08/20 の時間平均スペクトル。 $\Gamma = 2.1$ に固定した PL (緑)、その反射成分 (青)、新たに加えた PL 成分 (マゼンタ、 $\Gamma = 1.3 \pm 0.1$)。

3.3 Count-Count Correlation with Positive Offset method

図#に横軸 2-3 keV、縦軸 3-10 keV として、IC4329A の全観測の Count-Count Plot (CCP) を示した。データ点はよい線形性を示しているため、我々は Count-Count Correlation with Positive Offset 法 (C3PO 法; Noda et al. 2011, 2013) を適用した。

縦軸にエネルギー帯域 E を取った CCP 上の点は、

$$y(E; t) = A(E)x(t) + B(E), \quad (1)$$

で表される。ここで、 x は固定された reference band のカウントレート、 y はエネルギー (E) でのカウントレートである。それぞれの CCP に対するフィット結果から、 $y(E)$ は変動部分 $A(E)\bar{x}$ と不変部分 $B(E)$ に分解される。 \bar{x} は reference band での平均カウントレートである。

今回の解析では、reference band として 2-3 keV を採用した。2007 年の 5 観測の合計に対して、3-45 keV を 35 に分割して C3PO 法を適用したところ、図#に示すように変動スペクトルと不変スペクトルを得た。wabs[0]*powerlaw[0] を変動スペクトルに、wabs[0]*pexmon[0] を不変スペクトルに、これらの

合計を時間平均スペクトルに対して同時にフィットしたところ、これらのモデルは 3 つのスペクトルを同時に再現することはできなかった ($\chi^2/\text{d.o.f.} = 759.3/194$)。そこで、差分スペクトル法と同様、不変成分として wabs[1]*powerlaw[1] を加えた結果、 $\chi^2/\text{d.o.f.} = 242.8/191$ となり、変動スペクトル、不変スペクトル、時間平均スペクトルの 3 つを同時によく表すことができた (図 4)。2012 年のデータに対しても同様に C3PO 法を適用し、変動スペクトルと不変スペクトルを得た。これらと時間平均スペクトルに対する同時フィットは、新たな PL によって $\chi^2/\text{d.o.f.}$ は#から 265.9/173 に改善された。

同時フィットによって得られた 2 種の PL (soft/hard PL) のパラメータを表 2 に示した。

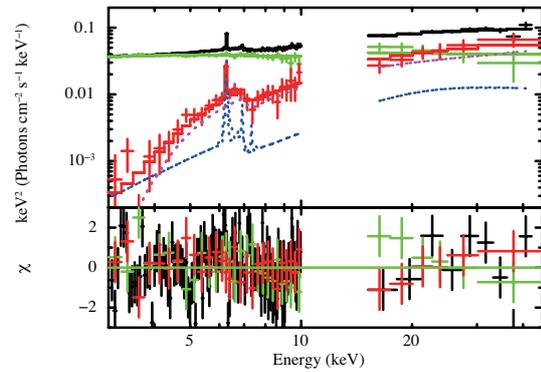


図 4: 2007/08/20 の時間平均スペクトル。 $\Gamma = 2.1$ に固定した PL (緑)、その反射成分 (青)、新たに加えた PL 成分 (マゼンタ、 $\Gamma = 1.3 \pm 0.1$)。

4 Discussion and Conclusion

Hard PL wabs[1]*powerlaw[1] の代わりに、soft PL の部分吸収 wabs[1]*powerlaw[0] や、相対論的反射 kdblur*pexmon[1] を用いて、2007 年の変動、不変、時間平均スペクトルに対して同時フィットを行ったところ、 $\chi^2/\text{d.o.f.}$ はそれぞれ 1.63、2.25 となり、hard PL モデルの 1.27 よりも大きくなった。soft PL の部分吸収は、放射源が同じであるため、変動性も soft PL のそれに追従するため、変動スペクトルに現れると考えられる。また相対論的反射は、BH ごく近傍 (\sim 数 R_S) の小さい領域から放射されるた

表 2: C3PO 法で得たスペクトルへのフィット結果。
ラベルは、[0] が soft PL、[1] が hardPL。

パラメータ	2007 年	2012 年
$\Gamma[0]$	2.07 ± 0.04	2.15 ± 0.06
$N_{\text{H}}[0] (\text{cm}^{-2})$	$(0.9 \pm 0.3) \times 10^{22}$	$(1.4 \pm 0.4) \times 10^{22}$
$\Gamma[1]$	1.51 ± 0.09	1.3 ± 0.1
$N_{\text{H}}[1] (\text{cm}^{-2})$	$(4.6 \pm 0.6) \times 10^{23}$	$(4 \pm 2) \times 10^{23}$

め、変動のタイムスケールは $\sim \text{ks}$ であるから、これも変動スペクトル中に現れると考えられる。以上のように、スペクトルの形と時間変動の両方の観点から、これらの 2 つの放射は、IC4329A においては支配的ではない。

以上の議論から、hard PL は二次成分ではなく、soft PL とは別の一次放射であると考えられる。したがって、NGC 3516 (Noda et al. 2013) のように、IC4329A も soft ($\Gamma \sim 2.1$) と hard ($\Gamma = 1.5 - 1.8$) の、二つの異なる一次放射成分を持つことが、差分スペクトル法と C3PO 法の二つの手法によって確かめられた。これは、他のセイファート銀河でも同様に成り立っていると考えられる。

Reference

- Fabian and Miniutti. 2005. arXiv: astro-ph/0507409
- Cerruti et al. 2011. A&A, 535, A113
- Noda et al. 2011. PASJ, 63, 449
- Noda et al. 2013. ApJ, 698, 1740
- Perola et al. 1999. A&A, 351, 937
- Willmer et al. 1991. AJ, 101, 57
- Markowitz et al. 2009. ApJ, 698, 1740
- Fukazawa et al. 2009. PASJ, 61, S17
- Boldt et al. 1987. IAUS, 124, 611B