

Sy1 活動銀河核 IC4329A における新たな硬 X 線成分の発見

三宅 克馬、牧島一夫、中澤知洋、野田博文 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

活動銀河核 (AGN:Active Galactic Nuclei) の X 線スペクトルは、光子指数 $\Gamma \sim 2$ のべき関数型の一次成分、一次成分の反射と解釈されるおよそ 10 keV から盛り上がるハンプ成分、反射成分に付随すると鉄輝線、などから成る。しかし、観測されるスペクトルの中では、これらの成分が混じり合う結果、何らかの仮定や先見なしにそれらを分離することは難しかった。硬 X 線のハンプ成分の解釈もまた、説明可能な様々な解釈が存在し、まだ決着はついていない (Madejski et al. 1995; Perola et al. 1999; Gondoin et al. 2001)。そこで我々は今回、時間変動を利用したモデルに依存しない方法で硬 X 線成分を調べるため、明るく時間変動のある天体として IC4329A を選び、「すざく」のデータを用いて解析を行った。その結果、差分スペクトルを用いて連続一次成分を抽出し、光子指数として $\Gamma \sim 1.96$ を決定した。この Γ を固定した一次成分、およびその反射を組み込んだモデルフィッティングを行うことにより、時間変動する連続一次成分とは独立した新たな硬 X 線成分の存在を発見した。

1 Introduction

セイファート I 型銀河の AGN の X 線スペクトルは、光子指数 $\Gamma \sim 2$ のべき関数で表現される時間変動する連続一次成分、一次成分の反射と解釈されるおよそ 10 keV から盛り上がる時間変動のないハンプ成分、反射成分に付随する中性鉄輝線、などで構成されている。

Noda et al. (2011a, 2013b) は、MCG-6-30-15 や NCG 3516 等の、複数のセイファート銀河で、小さいタイムスケールで時間変動する一次成分とは独立に変動する硬 X 線成分を発見した。本研究の手法もこれと同様の、時間変動を用いたものである。

IC4329A は質量 $6.8 \times 10^7 M_{\odot}$ 、エディントン降着率 0.21、赤方偏移 0.016 の天体である (Markowitz et al. 2009)。また、2–10 keV の光度はエディントン比で 4.2×10^{-3} と求められた。この光度は AGN の中でも特に明るく、また時間変動がよく見られるので今回の解析の対象としてよく適したものである。そこでこの天体に対して差分スペクトルをとることにより、時間変動するべき関数型成分を抽出できると考えた。

また、硬 X 線成分のうち反射成分を除去するのに鉄輝線の等価幅を利用する。セイファート I 型の X 線スペクトルで未解決のもう一つの問題として、

$\gtrsim 10$ keV のハンプの強さに比べ、中性鉄輝線の等価幅が小さすぎる、という事実がある (Madejski et al. 1995; Perola et al. 1999; Gondoin et al. 2001)。この解釈として相対論的な反射や、視線方向にある吸収体などが提唱されているが、未だ決定的なものはない。またこれらはフィッティング結果を解釈するために生み出された理論にすぎない。本研究では、鉄輝線の等価幅を Ross and Fabian (2005) 等による理論値 1.5 keV に固定することで、反射成分の強度を正しく見積もりこれを除去することにより、硬 X 線帯域における新たな成分を定量的に発見することに挑戦する。

2 Observations and Data Reduction

我々は X 線衛星「すざく」による IC4329A のデータを用いてスペクトル解析を行った。観測は 2008 年 8 月に計 5 回行われた。各観測についての基本的なデータは表 1 に記してある。

今回ここで用いた検出器は X-ray Imaging Spectrometer (XIS) および Hard X-ray Detector の PIN 型半導体検出器 (HXD-PIN) で、エネルギー帯域はそれぞれ 0.2–12 keV、10–70 keV である。今回は XIS0、

XIS3 および HXD-PIN のクリーンイベントを用いた。プロセッシングのバージョンは 2.1 である。また解析に使用したソフトは HEASOFT ver. 6.6.1 である。

XIS でのソースイベントおよびバックグラウンドイベントは、それぞれ自分で指定した領域からデータを抽出して作成した。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内径 $4.8'$ 、外径 $7.8'$ のソースと同心の円環領域から作成した。これらの領域から抽出した XIS0、XIS3 のイベントを合計したものをを用いた。またレスポンス作成には `xisrmfgen` および `xissimarfgen` を使用した。

HXD のバックグラウンドは、Non X-ray Background に関しては「すざく」の HXD チームが提供しているイベントデータを使用した。Cosmic X-ray Background に関しては Boldt (1987) の手法によって推定した。

表 1: 各観測についてのデータ
座標系は J2000。単位は度。

Date	RA	DEC	Exposure
8/01 05:28:20	207.3319	-30.3107	20 ks
8/06 00:41:45	207.3329	-30.3099	24 ks
8/11 11:00:23	207.3319	-30.3116	20 ks
8/16 11:48:47	207.3317	-30.3084	20 ks
8/20 23:26:16	207.3321	-30.3098	12 ks

3 Analysis

3.1 Light Curves and Spectra

図 1 に 5 観測分のライトカーブを示す。本研究では大きなタイムスケールで時間変動を用いて差分スペクトルを作成し、変動成分を抽出する。図 1 を見ると HXD よりも XIS の方が時間変動が大きいことがわかる。

図 2 に各観測のスペクトルを記した。縦軸は、 $\Gamma = 2$ 、規格化 1 の powerlaw に対する比である。検出器応答は大まかに除去できているが、1.9 keV 付近に検出器由来の Si 吸収線が残っている。また、静止系で 6.4 keV の位置には、Fe $K\alpha$ 輝線が見てとれる。スペクトルが $\lesssim 2$ keV で弱くなっているのは、星間吸

収によるものである。各観測のスペクトルを比較すると、鉄輝線を含む $\gtrsim 10$ keV の硬 X 線成分は時間経過に対してその形状を変えないことが見てとれる。したがって、各観測間の差分スペクトルを作成すれば、硬 X 線成分を除去し、変動する一次成分のみを取り出すことができると考えられる。

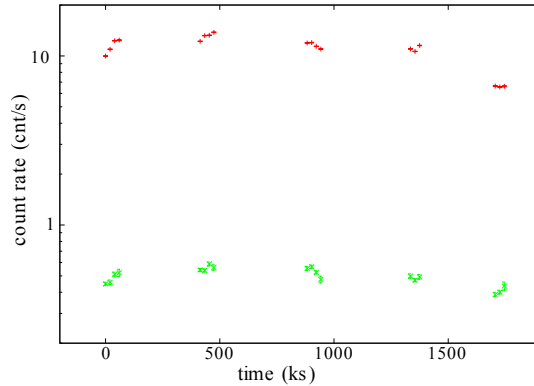


図 1: IC4329A のライトカーブ
赤が XIS、緑が HXD。

3.2 Difference Spectrum

図 1、図 2 からわかるように、第 5 観測だけフラックスが極端に弱いので、差分スペクトルは第 5 観測と他観測との間で作成した。図 2 に紫色で示してあるのが、第 2 観測と第 5 観測の差分スペクトルである。

これを見ると、 $\gtrsim 2$ keV の帯域ではスペクトルがフラットであり、確かにべき関数型の連続成分を抽出できたことがわかる。こうして作成した差分スペクトルに対して `wabs*powerlaw` でモデルフィッティングを行い、 Γ を求めた。得られた Γ の値を表 2 に示している。この原因は今後詳しく調べることにし、ここでの解析では一旦無視する。第 1-2 と第 4 観測の、第 5 観測に対する差分から得られた光子指数は、 $\Gamma = 1.96 \pm 0.03$ である。

3.3 Model Fitting

まず、各モデルの物理的な意味を記す。`wabs` は星間吸収に対応する。`powerlaw` は Γ を指数に持つべき関数型成分を表す。`gauss` は鉄輝線を表し、`pexrav` は

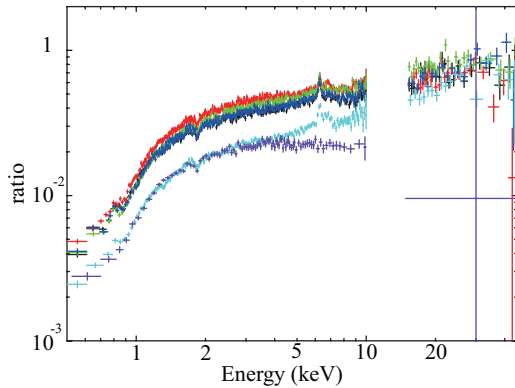


図 2: 各観測のスペクトルと差分スペクトル
観測 1 から順に黒、赤、緑、青、水色。紫は観測 2 と
観測 5 の差分スペクトル。

表 2: 差分スペクトルから求めた光子指数

	Photon Index
観測 1	1.98 ± 0.03
観測 2	1.95 ± 0.02
観測 3	1.82 ± 0.03
観測 4	1.95 ± 0.03

反射成分として解釈されるハンプ成分を表す。pexmon は鉄輝線を含む反射成分であり、また鉄輝線の等価幅を 1.5 keV に固定したものである。

第 3.2 節で、差分スペクトルを利用して時間変動するべき関数型成分と時間変動しない硬 X 線成分を切り離して、前者を特徴づける $\Gamma = 1.96 \pm 0.03$ を決定した。これを用いて、各観測のスペクトルに対してモデルフィッティングを行えば、時間変動しない硬 X 線成分だけを抽出できるはずである。5 観測目のスペクトルに対して $wabs*(powerlaw+gauss+pextrav)$ でモデルフィッティングを行った。反射体の重元素組成は、太陽組成と等しくした。このフィッティングの結果、FeK α 輝線のハンプ成分に対する等価幅は 210 ± 45 eV であった。これは、ハンプ成分を反射と考えた時、Ross and Fabian (2005) 等により理論的に想定される値 1.5 keV よりも有意に低い。

そこで等価幅を固定したモデルフィッティングを行うため、鉄輝線の等価幅が 1.5 keV に固定されたモデルとして、新たに $wabs*(powerlaw+pexmon)$ を用いてスペクトルの再現を試みた。フィッティン

グによれば、 $\chi^2/d.o.f. = 362.42/142$ となった。そこで、鉄輝線が消えるように pexmon の規格化を変更した結果、硬 X 線領域に、反射成分とは異なる別の、変動が小さくハードな放射成分が必要となる。そこで新しい成分として $wabs*powerlaw$ を追加した $wabs*(powerlaw+pexmon+wabs[2]*powerlaw[2])$ でモデルフィッティングを行った。結果のグラフを図 3 に、パラメータを表 3 に示した。 $\chi^2/d.o.f. = 151.88/145$ であり、よいフィッティング結果が得られたと言える。

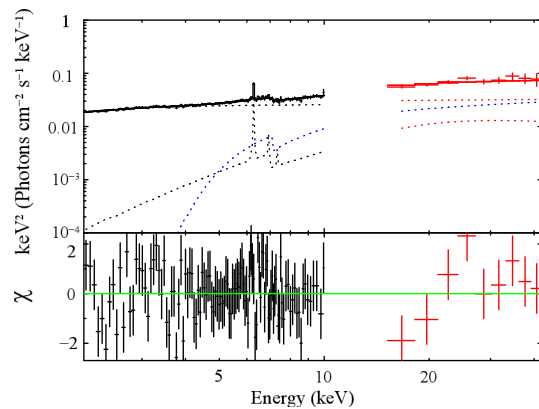


図 3: $\Gamma = 1.96$ のスペクトルフィッティング
 $wabs*(powerlaw+pexmon+wabs[2]*powerlaw[2])$
によるフィッティング。黒が XIS、赤が HXD。青が
今回新たに発見した硬 X 線成分である。

表 3: 図 3 のパラメータ

Component	Parameter	数値	備考
wabs	N_H (cm^{-2})	$(0.68 \pm 0.05) \times 10^{22}$	
powerlaw	Γ	1.96	fixed
pexmon	f_{refl}	-2.15 ± 0.22	
wabs[2]	N_H (cm^{-2})	$(58.6 \pm 8.5) \times 10^{22}$	
powerlaw[2]	Γ	1.67 ± 0.15	

4 Discussion and Conclusion

AGN の X 線スペクトル成分はこれまで、時間平均スペクトルに対して、複雑なモデルフィッティングを用いたスペクトル解釈による方法で解析が進めら

れてきた。しかし我々は今回、Noda et al. (2011a, 2013b) の技法に従った時間変動を利用した手法により、なるべくモデルに依存しない方法で硬 X 線成分を抽出してから、解析することに成功した。

具体的には、差分スペクトルを用いて時間変動の大きなべき関数型の一次成分と時間変動の小さな硬 X 線成分を分離する。差分によって残った一次成分から $\Gamma = 1.96 \pm 0.03$ を決定した。

次に、鉄輝線の等価幅を反射成分の理論的な予想値 1.5 keV に固定したモデルを用いて、鉄輝線およびそれに付随する反射成分を除去する。wabs*(powerlaw+pexmon) というモデルに、求めた光子指数を用いて鉄輝線が消えるようにパラメータを設定すると、べき関数型の一次成分が変動しても変動を見せない、新たな硬 X 線成分が存在することが明らかになった。今後は、こうした解析を別の天体でも行って、新しい成分の性質を統計的に調べるとともに、この新たな硬 X 線成分を生成する、新たな素過程の検討を続ける予定である。

Reference

- Madejski et al. 1995. ApJ
Perola et al. 1999. A&A
Gondoin et al. 2001. A&A
Markowitz et al. 2009. ApJ
Noda et al. 2011a. PASJ
Noda et al. 2013b. ApJ, in press
Boldt 1987. IAUS
Ross and Fabian 2005. RAS