

狭輝線 1 型セイファート銀河 PG1244+026 の X 線変動解析

桑原啓介、山田真也、大橋隆哉 (首都大学東京大学院 理工学研究科)、野田博文 (理研)

Abstract

AGN の中でも、Narrow-Line Seyfert 1 型 (NLSy1) は非常に高い質量降着率と狭い輝線を持つ。NLSy1 についてはスペクトル成分の個数や形状、時間変動の特徴などわかっていないことが多く、過去のエネルギースペクトルに着目した解析では、特徴的な構造が少ないため複数のモデルや解釈が縮退しやすく、一意的な解を得るのが困難であった。

この現状を打開するためには、エネルギースペクトルと時間変動の情報を融合させてデータを解釈することが重要である。先行研究には、周波数空間での変動のパワーとそのエネルギー依存性を調べた研究 (Jin et al. 2013) があるが、時間空間でのアプローチの方が、時々刻々の変動を追跡できる点で優位性があると考えられている。そこで、我々は XMM-Newton 衛星が長時間 (約 120 ks) 観測した NLSy1 PG1244+026 のデータの解析を行った。

本研究ではライトカーブの明暗を長いタイムスケール ($\gtrsim 10$ ks) と短いタイムスケール ($\lesssim 10$ ks) で判定し、それぞれの時間帯で集積したエネルギースペクトルを比較した。その結果、いずれのスケールでも、明るくなるとエネルギースペクトルがわずかに軟 X 線側に傾くことがわかった。また、明暗それぞれの時間帯でエネルギーの低い X 線 (0.3~1 keV) と高い X 線 (2~10 keV) のカウント比をとると、長期のタイムスケールの変動のほうで明るい時の $(5.99 \pm 0.05) \times 10^{-2}$ から 暗い時の $(6.41 \pm 0.05) \times 10^{-2}$ へと有意な変化が確認できた。

より明確な変化を確認するため、カウントカウントプロットを一定のカウントレートで区切り、平均値をとることでデータ点の分布をまとめた図を作成し、低エネルギー X 線と高エネルギー X 線の光度変動の様子を検証した。

1 Introduction

この宇宙に存在する銀河の多くはその中心部に活動銀河核 (AGN) と呼ばれる大質量ブラックホールを持つ。AGN は単体で銀河そのものに匹敵する明るさで輝き、恒星の進化の果てに生まれるブラックホールより質量が 6 桁以上も大きい。X 線スペクトルは様々な形に分解され、ブラックホール本体近傍のコロナの逆コンプトン散乱が起源とされるベキ乗成分、低エネルギー側での軟 X 線超過等が考えられている。

AGN は主にクエーサーとセイファート銀河の二つに分類され、中でも狭輝線 1 型セイファート銀河 (NLSy1) は非常に高い質量降着率と狭い輝線を持つ。軟 X 線帯域では、円盤からの成分とベキ乗成分だけでは説明できない超過成分が非常に強く存在し、未

だにその起源ははっきりとはわかっていない。また、他のセイファート銀河と比べて激しい時間変動を持つことも知られており、その起源も不明である。

エネルギースペクトル成分の個数や形状についてもわかっていないことが多く、従来のような時間平均したエネルギースペクトルに着目した解析では、特徴的な構造の少なさから複数のモデルや解釈が縮退してしまい、一意的な解を得ることが困難だった。先行研究には、周波数空間での変動のパワーとそのエネルギー依存性を調べた研究 (Jin et al. 2013) があるが、我々はライトカーブ等の時間空間でのアプローチを行うことで時々刻々の変動を追跡し、エネルギースペクトルと時間変動の情報を融合させてデータを解釈した。

今回、XMM-Newton 衛星による 2011 年 12 月 25

日の約 120 ks の観測データを用いて NLSy1 である PG1244+026 の X 線解析を行った。

2 Method

AGN は一般的にトラス、降着円盤、大質量ブラックホール、コロナで構成されていると考えられている。NLSy1 の大質量ブラックホール近傍の構造を知る上で、エネルギースペクトル成分を正確に分解することが非常に重要となる。

円盤成分とコロナ成分はそれぞれ支配的なエネルギー帯域が異なるため、各成分の時間変動に違いがあることを仮定するとタイムスケールの違いからエネルギースペクトル成分を分割できると考えられている。

2.1 狭輝線 1 型セイファート銀河

中心部に大質量ブラックホール ($M \sim 10^{6\sim9} M_{\odot}$) を持つ銀河中心核を活動銀河核 (AGN) と呼ぶ。恒星質量ブラックホールと大質量ブラックホールはその質量の違いから異なると考えられているが、大質量ブラックホールの形成過程は未だはっきりとはわかっていない。

セイファート銀河はその分類上、比較的低い光度の AGN とされているが、中心核はその銀河に含まれる全ての星の光度に匹敵する光度で輝いている。1 型と 2 型に分類され、1 型は幅の広い輝線と幅の狭い輝線の両方が見えるが、2 型は狭輝線しか見えない。統一モデルではトラスが中心部を隠す向きに位置している場合は 2 型、隠していない場合は 1 型となる。NLSy1 は禁制線より少し広い程度の幅しかない非常に狭い輝線を持つセイファートで、エディントン光度に近い大光度で光っている。

NLSy1 の軟 X 線帯域におけるエネルギースペクトルは主に以下の成分からなる。

- 円盤成分

降着物が形成する円盤のガスの粘性によって摩擦熱が生じ、ブラックホール近傍で温められた円盤から黒体放射が起き、X 線が放射される。

軟 X 線帯域において、 ~ 1 keV で最も卓越する成分である。

- ベキ乗成分

円盤からの放射がブラックホール近傍のコロナでコンプトン散乱されたもの。どの AGN にもみられ、ベキ乗のモデルで再現できることが知られている。軟 X 線帯域において 4~10keV で支配的となる。

- 軟超過成分

円盤成分、ベキ乗成分だけでは再現できない軟 X 線帯域 (~ 1 keV 付近) に存在する超過成分。その起源は未だはっきりとわかっていない。

3 Conventional Analysis

ライトカーブの平均値と 10 ks の running average をとり、それぞれを閾値として上下の時間帯をとることでタイムスケールの長い変動、短い変動を定義した。それぞれのタイムスケールでの明るい時間帯、暗い時間帯のエネルギースペクトルを描いてハードネスを比べた。エネルギー範囲をソフト (0.3 ~ 1.0 keV)、ミディウム (1.0 ~ 2.0 keV)、ハード (1.0 ~ 10.0 keV) で分けたライトカーブを示す (図 1)。

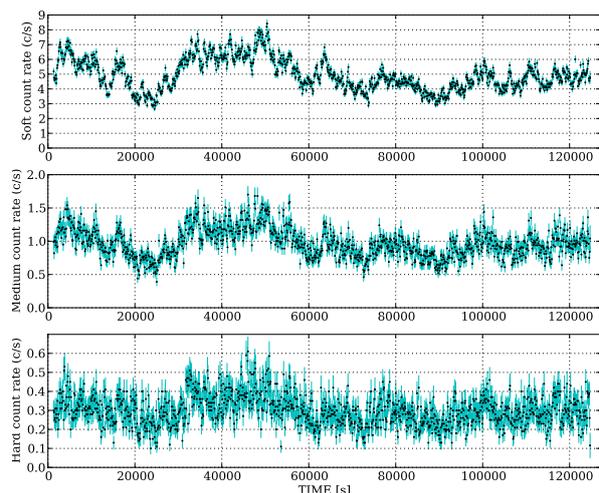


図 1: PG1244+026 のライトカーブ 上からソフト、ミディウム、ハード 横軸は観測開始からの経過時間

3.1 スペクトルフィット

今回、 $\text{const} * \text{wabs} * (\text{diskbb} + \text{powerlaw})$ をスペクトルフィットに使用した。powerlaw モデルの Photon Index をハードネスとして明暗で比較したがエラーの範囲に収まる程度の変化 (Photon Index の 1% 以下) しか確認できなかった。図 2、図 3 に各エネルギー・スペクトルを示す。

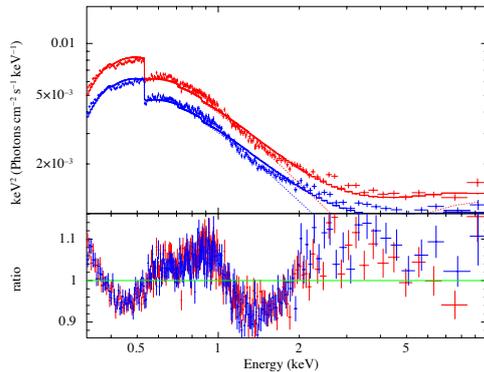


図 2: 長いタイムスケールの変動のエネルギー・スペクトル。上が $\mu F \mu$ プロットで下がモデルとの比。red: 明るい時間帯 blue: 暗い時間帯

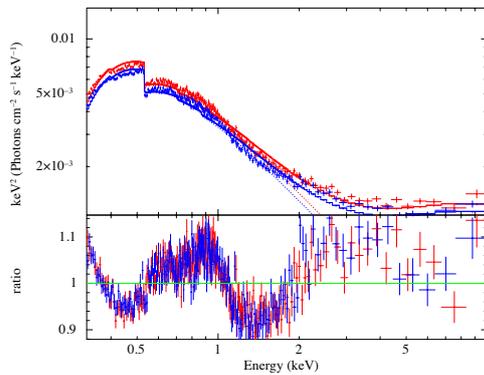


図 3: 短いタイムスケールの変動のエネルギー・スペクトル。上が $\mu F \mu$ プロットで下がモデルとの比。red: 明るい時間帯 blue: 暗い時間帯

3.2 ハードネス

実際にハードネスの変化は無いのかを確かめるためにソフトとハードのカウントレートからハードネス ($2.0 \sim 10.0 \text{ keV} / 0.3 \sim 1.0 \text{ keV}$) を計算した結果、エラーに埋もれない有意な変化が確認できた。また、タイムスケールの長い変動のほうが短い変動よりも明暗のハードネスの変化が多くなった。

表 1: カウントレートから計算したハードネス ($\times 10^{-2}$)

タイムスケール		hard/soft	error
短い変動 ($\geq 10 \text{ ks}$)	明	6.13	0.05
	暗	6.27	0.05
長い変動 ($\leq 10 \text{ ks}$)	明	5.99	0.05
	暗	6.41	0.05

4 New Approach Analysis

ハードネスの変化は有意に確認できたが、それがスペクトルフィットで確認できないのは時間帯の取り方やエネルギー範囲の取り方が最適でないことが考えられる。この問題を解決するため、特異な変動を検出するための適切な時間帯を決める新たな手法を考案した。

4.1 count-count プロットの平均化

count-count プロットを描き、エラーバーに埋もれてしまう情報を明確にするため、縦軸横軸のカウントレートを一定値毎に区切り、その格子状に区切られた各範囲に含まれるデータ点の平均値をとることで分布をまとめることに成功した (図 4)。

この手法を用いることで、エネルギー・スペクトルフィットのように特定のモデルに依存すること無しに、データから普遍的な情報を抽出することができる。

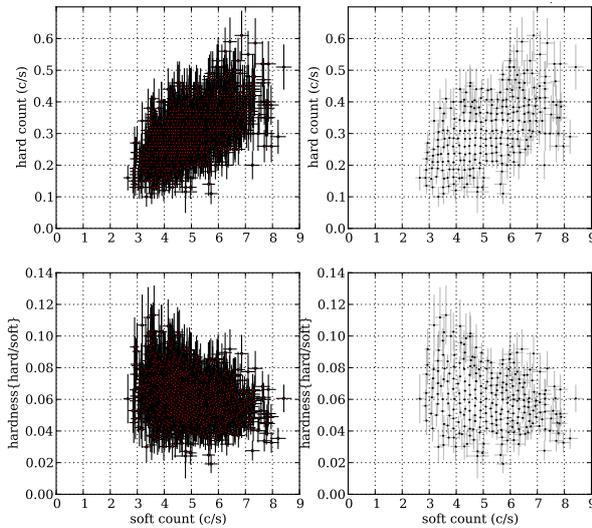


図 4: count-count プロット (左) と平均化後の図 (右)
横軸はソフトのカウントレート 上段: 縦軸にハードのカウントレートをプロットした 下段: 縦軸にハードネスの値をプロットした

平均化した図を見ると、ソフトのカウントレート 5.6 を閾値として分布が二つに分かれているように見える (図 5)。そこで、soft count rate = 5.6 を閾値としてソフトの明暗の時間帯を定義した (図 6)。

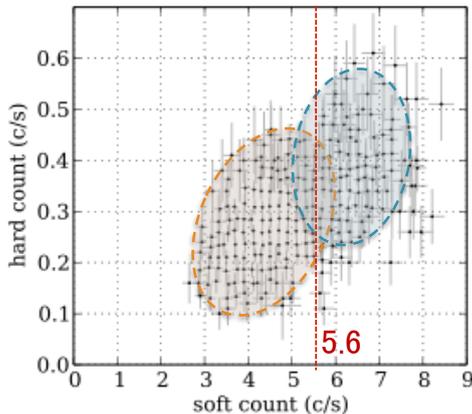


図 5: 平均化によって見えるようになった二つの分布

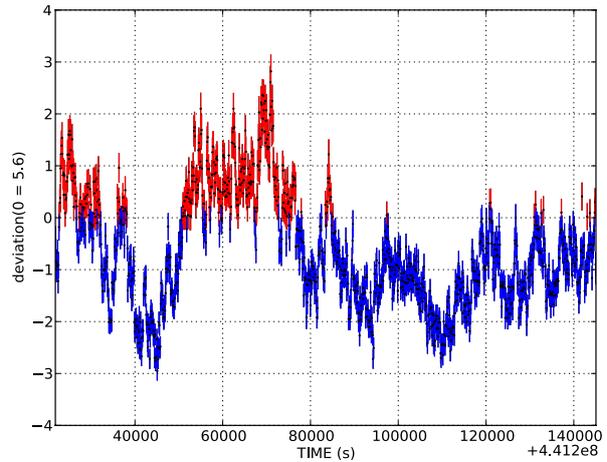


図 6: カウントレート 5.6 を境にして明暗を分けたソフト (0.3 ~ 1.0 keV) のライトカーブ 縦軸は 5.6 との差 横軸は観測開始からの時間 red:明るい時間帯 blue:暗い時間帯

観測開始から 7000 s 以降ではほとんど赤い時間帯がないことから、観測の前半後半で全く異なる変動が起きている可能性が考えられる。

今後は、この二つの時間帯についてエネルギースペクトルの解析を進め、PG1244+026 の変動についての情報を抽出する。また、今回考案した新手法を更に発展させることで AGN の持つ様々な問題の解明に迫りたいと考えている。

Reference

Chichuan Jin, Chris Done, Matthew Middleton and Martin Ward. 2013. MNRAS 436, 3173-3185

Noda et al. (2013), ApJ, 771, 100

Noda et al. (2014), ApJ in press