

セイファート銀河のX線スペクトルの構造

山内 誠・松岡 勝・Piro Luigi

X-ray spectral feature from Seyfert galaxies

By

M. YAMAUCHI, M. MATSUOKA, and L. PIRO

Abstract: In the X-ray spectra from some Seyfert-I galaxies observed with the GINGA satellite, the existence of an absorption-like feature at 7–10 keV and hard X-ray component above 10 keV have been discovered. These X-ray spectra cannot be explained by the standard model where the radiation emitted with a power-law form is absorbed by uniform matter. These features in the spectra are most likely explained by a partial covering model or by a Compton reflection model. In the partial covering model the absorber is not uniformly distributed but consists of blobs which partially cover the X-ray source. The feature in the spectrum may be formed by the combination of direct and highly adsorbed X-rays. On the other hand, in the Compton reflection model the feature may be formed by the composition of direct X-rays and reflected X-rays which come from more energetic radiation via repeated Compton scatterings. These models suggest the existence of thick gas of more than 10^{24}cm^{-2} around the X-ray source.

概 要

これまでに「ぎんが」衛星によって観測されたいくつかのI型セイファート銀河からのX線放射のスペクトルには、7–10 keV付近に吸収端のような形と、約10 keV以上が盛り上がる構造の存在することが新たに見つかった。このようなX線スペクトルはこれまでに唱えられてきたような標準的なモデル、即ちべき関数的にエネルギー分布する放射が一様なガスによって吸収を受けているというモデルでは説明することが出来ない。

このようなスペクトルの構造は、吸収ガスが一様ではなくX線源の一部だけを覆うような濃いガスが存在しているために、強い吸収を受けた成分と強い吸収を受けていない成分とが重なってできたもの（部分吸収モデル）、もしくは、より高エネルギー部の放射が濃いガスによって何回かコンプトン散乱され、反射されて直接成分に重なってできたもの（コンプトン反射モデル）と考えるのがもっともらしいことがわかった。いずれにしてもコラム密度 10^{24}cm^{-2} 以上の濃いガスがX線源の周りに存在していることを示唆し、これまでの活動銀河核で唱えられてきたBLR (Broad Line Region) とNLR (Narrow Line Region) のモデルに何らかの濃いガスの領域を導入しなければならないことになる。

I はじめに

これまでI型セイファート銀河のX線スペクトルは、元素組成が太陽組成と等しいような、一様で温度の低い ($T \leq 10^5 \text{K}$) ガスによって吸収を受けた単一のべき関数型のスペクトルで表すことができ、そのべき指数はエネルギー指数で大体0.7であるとされてきた[1, 2, 3]。ところが、検出器の感度があがるにつれてこの考え方も徐々に変わってきた[4, 5, 6, 7]。それは、I型セイファート銀河のX線スペクトルにみられる6.4 keVの鉄輝線が、冷たいガスの蛍光により出ていることが一般的となっただけでなく、スペクトル指数の時間変動と標準値からのズレについての情報によるものである。[13, 14]

「ぎんが」衛星に搭載された大面積比例計数管 (LAC) [8] は、大面積かつ低バックグラウンドであるので、セイファート銀河等X線強度の弱い活動銀河核のスペクトル研究に力を発揮してくれる。ここでは、LACによって観測された活動銀河核のスペクトルとして、最も統計のよいIC4329Aのほか、いくつかのI型セイファート銀河のX線スペクトルについて報告する。

II X線スペクトル

II-1 IC4329A

IC4329Aは、1989年7月8日から7月10日にかけて3日間観測されたが、始めの2日間はX線強度が一定であったのに対し、後の1日はX線強度が約20%強い状態ではほぼ一定していた。X線スペクトルの指数は強度と共に変化することが、いくつかのセイファート銀河で見つかっている[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]ので、スペクトルに人工的な構造を導入するのを避けるために、X線強度が一定の範囲内にある部分のデータだけを使ってX線スペクトルを作った。また、以下の解析は、観測器系の系統的誤差とバックグラウンド差引に伴う誤差を考慮して統計誤差に1%の誤差を加えて行った。

図1はこの銀河のX線スペクトル (LACで 18cts s^{-1} , 有効時間 $T = 17795 \text{sec}$) で、べき関数と一様な吸収だけを使ったモデルをデータに合わせたものである。換算 χ^2 は $\chi^2_\nu = 6.3$ ($\nu = 19$) で、標準偏差の単位で示されたモデルとデータの残差分布は、6.3 keV付近に輝線、7 keV付近に吸収端のような構造、及び、より高いエネルギー領域での盛り上がり

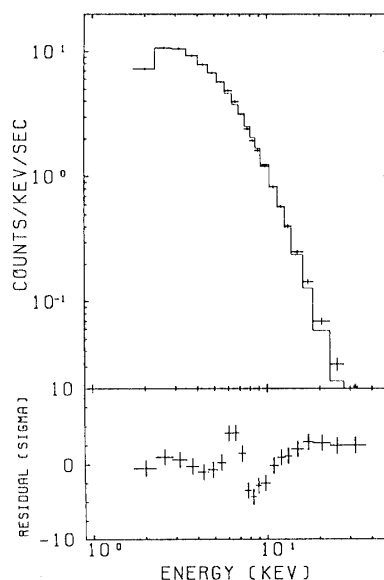


図1 IC4329AのX線スペクトルにべき関数型放射が一樣な吸収を受けるモデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。 χ^2_ν は6.3($\nu=19$)。

が存在することを示している。従って次に、鉄輝線と鉄の吸収端を加えたモデルでデータに合わせたが、 $\chi^2_\nu=4.4$ ($\nu=17$) となって、まだうまくデータにあっていない。さらに、鉄の輝線が等価幅約 70 eV と検出されているが、これが一樣に分布したガスからの蛍光現象であるならば鉄の吸収端のコラム密度は $N_{\text{HFe}} \sim 6 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$ 程度必要であるが[16]、得られた結果はこれよりも約 2 桁小さい (低エネルギー側で求めた値 $\leq 10^{21} \text{cm}^{-2}$; 鉄の吸収端で求めた値 $\sim 7 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$)。この低エネルギー部と鉄吸収端部の吸収の違いを、光電離されたガスの光学的厚さの違いによるとする説明が試みられている[17]が、データから得られた鉄の輝線と吸収端のエネルギーはどちらも中性、もしくは低電離状態 ($< \text{X V III}$) の鉄を示しており、このような電離状態では光学的厚さの違いで、観測された吸収の違いを説明することが出来ない。これらの結果は、これまで考えられてきたような単純なべき関数のモデルでは IC4329A の X 線スペクトルを再現できないことを意味している。

次に、コラム密度 N_{Hcov} のガスが X 線源の一部だけを f_{cov} の割合で覆っているようなモデル、いわゆる部分吸収モデル[4, 5, 10, 18, 19]でデータに合わせた (図 2)。ここではガスの化学組成として太陽組成を用い、中性のガスを仮定した。IC4329A のスペクトルは、中性の鉄輝線を含んだ部分吸収モデルでかなりよく合わせることができ、 $\chi^2_\nu=0.9$ ($\nu=16$) となった。モデルの最適値によると、強く吸収を受けた成分の吸収のコラム密度は非常に高く、 $N_{\text{Hcov}} = 3 \times 10^{24} \text{cm}^{-2}$ であり、このガスによって全体の約 35% が覆われていることになる。このような強い吸収を受けた成分は、8-10 keV 付近で現われてきて、それより高いエネル

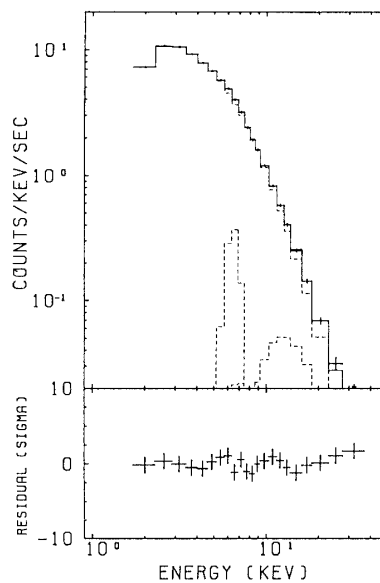


図2 IC4329AのX線スペクトルに部分吸収モデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、強く吸収を受けた成分を示す。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。 χ^2_ν は0.87($\nu=16$)。

ギーでの盛り上がりを形成している。

得られた N_{Hcov} の値は、コンプトン散乱に対する光学的厚さが1よりも大きいことを示している。コンプトン散乱による効果も考慮しなければいけない。一部の光子は周りの濃いガスによって多重回散乱され、我々の視線に入ってくると考えられる[20, 21]。ここではこれを反射成分と呼ぶことにする。この反射成分が、直接視線中に入ってくる成分や強い吸収を受けた成分と共に観測されるであろう。しかしながら、強い吸収を受けた成分はコラム密度が $N_{\text{Hcov}} \approx 3 \times 10^{25} \text{ cm}^{-2}$ を越えると、LACのエネルギー範囲ではその寄与は急速に小さくなり無視できるようになる[23]。従ってこの場合、モデルとしては直接成分と反射成分だけを考えればよいことになる。これをコンプトン反射モデルと呼ぶことにする。このモデルに中性の鉄輝線を加えてIC4329Aのスペクトルに合わせたのが図3である。ここでの反射成分は[20, 21]に与えられている式を用いて計算されたもので、吸収とコンプトン散乱の過程を考慮したものである。反射成分の反射率は入射スペクトルの傾きだけにわずかに依存するので、自由変数として加わるのはその規格化定数だけである。モデルはデータによく合っており、 $\chi^2_\nu=0.7$ ($\nu=17$)である。注目すべきことは、部分吸収モデルに比べて自由変数の数が1つ少ないのに χ^2_ν の値が小さくなっていることである。スペクトルの全体的な形は部分吸収モデルとよく似ており、10 keV以上での盛り上がりは反射成分によって形成されている。

さらに、高エネルギー部での盛り上がりを説明するものとして、べき関数を二つ使ったモ

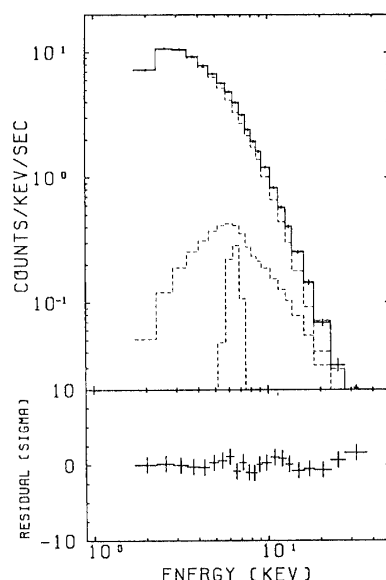


図3 IC4329AのX線スペクトルにコンプトン反射モデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、反射成分を示す。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。 χ^2_ν は0.65 ($\nu=17$)。

デルについても検討した。モデルに中性の鉄からの輝線も含めて計算した結果、最適値では二つのエネルギー指数は 2.01 ± 0.03 と 0.47 ± 0.21 であり、 $\chi^2_\nu=0.8$ ($\nu=16$) であった。また熱制動放射とべき関数を持つモデルでは、最適値は熱放射の温度が $kT=4.4$ keV、べき関数のべき指数がほぼ1.2で、 $\chi^2_\nu=0.7$ ($\nu=16$) であった。従ってこれらふたつのモデルでも統計的にはIC4329Aのスペクトルを再現し得ることが示唆されている。

II-2 同様な構造を持つセイファート銀河

IC4329Aのスペクトル解析と同じ手続きを行って、3つのI型セイファート銀河 MCG-6-30-15 (16 cts s^{-1} , $T=7180\text{sec}$), NGC4051 (11 cts s^{-1} , $T=10361\text{sec}$), NGC7469 (18 cts s^{-1} , $T=38798\text{sec}$) のX線スペクトルも解析した[13, 14, 15, 23, 24]。図4(a), 図5(a), 図6(a)はそれぞれのスペクトルに対して単純なべき関数のモデルで合わせたものである。それぞれの χ^2_ν は順に3.5 ($\nu=20$), 3.2 ($\nu=16$), 5.1 ($\nu=20$) と大きく、モデルとデータの残差分布もIC4329A(図1)とよく似ている。従ってこれらのスペクトルについても鉄の輝線と吸収端を加えたモデルで合わせた。このときの χ^2_ν は、順に1.5 ($\nu=18$), 2.3 ($\nu=14$), 3.1 ($\nu=18$) と大きい上に、MCG-6-30-15とNGC4051のスペクトルについてもIC4329Aで見られた光学的厚さの矛盾が生じた。NGC7469では、高エネルギー部と低エネルギー部での光学的厚さに矛盾は生じていないが、 $N_{\text{HFe}} \leq 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ となって、鉄の吸収端では7-10 keVのへこみを説明できないことを表している。従って、これらのスペ

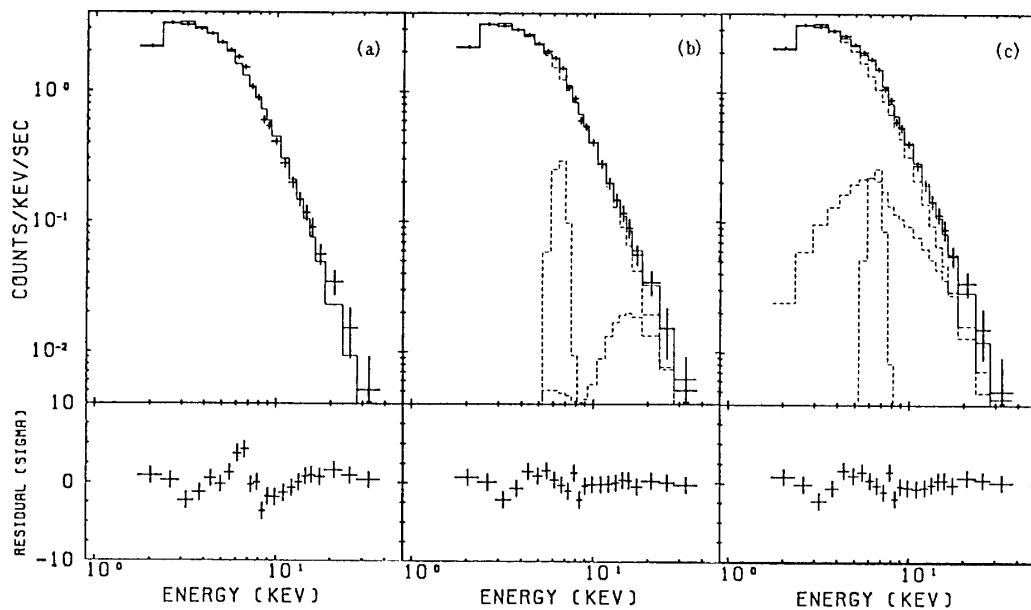


図4 MCG-6-30-15のX線スペクトルに3種類のモデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。

- (a) べき関数型放射が一樣な吸収を受けるモデル。 χ^2_ν は3.5($\nu=20$)。
 (b) 部分吸収モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、強く吸収を受けた成分を示す。 χ^2_ν は1.1($\nu=17$)。
 (c) コンプトン反射モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、反射成分を示す。 χ^2_ν は1.2($\nu=18$)。

クトルを説明するにはより複雑なモデルが必要である。そこで部分吸収モデルとコンプトン反射モデルを適用したこれらの結果をそれぞれ図4(b)、図5(b)、図6、と図4(c)、図5(c)、図(c)に示す。部分吸収モデルでの χ^2_ν は、(MCG-6-30-15: 1.1, $\nu=17$; NGC4051: 0.8, $\nu=13$; NGC7469: 1.1, $\nu=17$) とよく合っており、最適値ではどのスペクトルについても、コラム密度 $N_{\text{Hcov}} = (1.5 \sim 6) \times 10^{24} \text{cm}^{-2}$ のガスがX線源の30-70%を覆っているということを表している。またコンプトン反射モデルでの χ^2_ν は、(MCG-6-30-15: 1.2, $\nu=18$; NGC4051: 1.1, $\nu=14$; NGC7469: 1.0, $\nu=18$) で、やはりよくスペクトルを再現することが出来る。

ところでべき関数を二つ持つモデルでデータに合わせたものの χ^2_ν は、(MCG-6-30-15: 1.5, $\nu=17$; NGC4051: 1.5, $\nu=13$; NGC7469: 1.3, $\nu=17$) であり、あまりうまくデータを再現することが出来なかった。

さらに熱制動放射とべき関数を持つモデルでもデータに合わせた。その結果、熱放射の温度は $kT=10-30 \text{keV}$ で、べき関数のべき指数はほぼ0、即ち平らなものであった。 χ^2_ν は、べき関数を二つもつモデルと同程度に1より大きかった。

これらいくつかのモデルに対する結果は、IC4329Aでの結果も含めて表1にまとめておく。

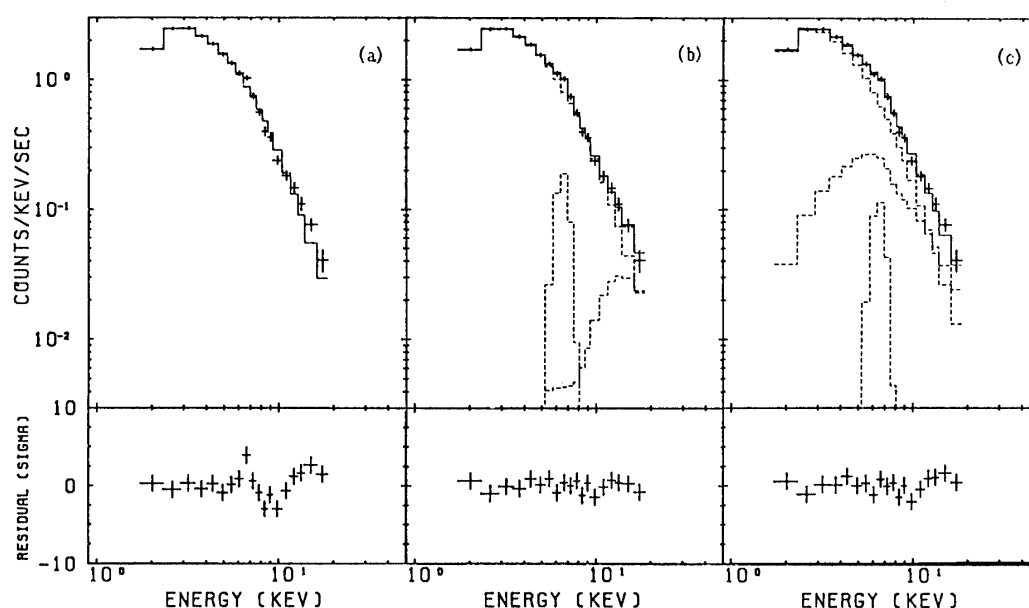


図5 NGC4051のX線スペクトルに3種類のモデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。

(a) べき関数型放射が一樣な吸収を受けるモデル。 χ^2_ν は3.2 ($\nu=16$)。

(b) 部分吸収モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、強く吸収を受けた成分を示す。 χ^2_ν は0.8 ($\nu=13$)。

(c) コンプトン反射モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、反射成分を示す。 χ^2_ν は1.1 ($\nu=14$)。

Ⅲ 議論

Ⅱ節でみてきたように、Ⅰ型セイファート銀河のスペクトルには、鉄の輝線が存在し、単純なべき関数のモデルに比べると7-10 keVで吸収端のようなへこみがあり、それ以上のエネルギー領域では盛り上がっていることがわかった。そしてこのようなスペクトルの形を説明できるモデルは部分吸収モデル、コンプトン反射モデル、二つのべき関数を持つモデル、熱制動放射とべき関数のモデルがある。

ここで、どのモデルがもっともらしいかについて考えることにする。まず表1を見てみると、二つのべき関数を持つモデルでスペクトルを再現できるのはIC4329Aだけである。さらに、スペクトル解析では系統的誤差を1%としてきたが、かに星雲のような強度のものでは観測装置に関わる系統的誤差が約0.5%で、1 mCrab程度の強度のものではバックグラウンドの差引の誤差が加わって約1%である。IC4329Aは強度が5-6 mCrabあるので、系統的誤差は1%よりも小さいと考えられる。そうすると χ^2_ν の値はより大きくなるであろう。このことは、より自由変数の少ないコンプトン反射モデルでの χ^2_ν が0.7というのが、 χ^2_ν の値として少し小さすぎるというものではなく、最もよく合うモデルであるということにもなる。一方、二つのべき関数を使ったモデルは、部分吸収モデルやコンプトン反射モデルに

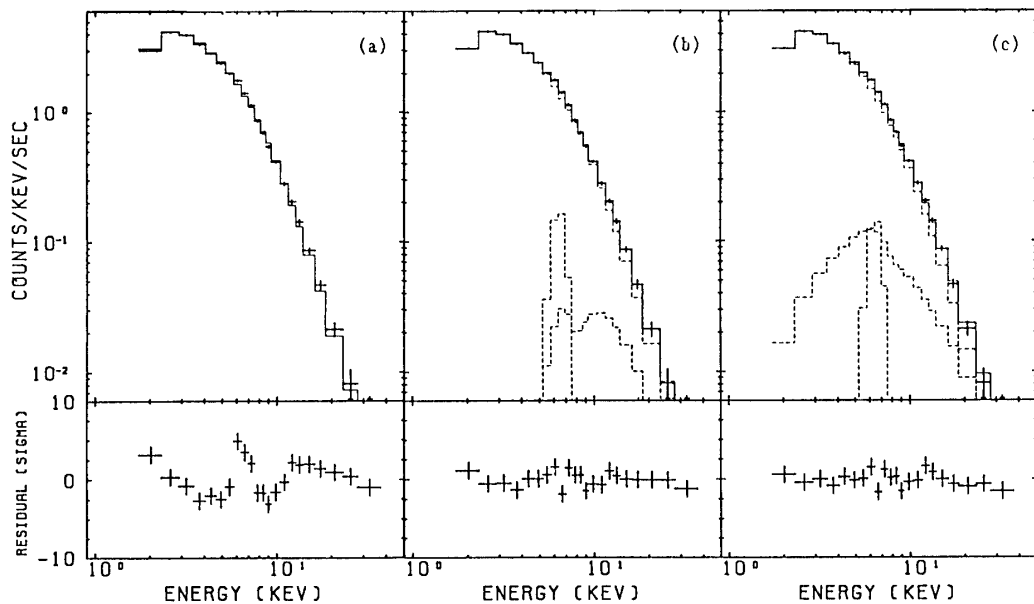


図6 NGC7469のX線スペクトルに3種類のモデルで合わせたもの。データは十字で表されており、最適値でのモデルは実線で表されている。下図はモデルとデータの残差を標準偏差の単位で表している。

- (a) べき関数型放射が一樣な吸収を受けるモデル。 χ^2_ν は5.1 ($\nu=20$)。
 (b) 部分吸収モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、強く吸収を受けた成分を示す。 χ^2_ν は1.1 ($\nu=17$)。
 (c) コンプトン反射モデル。3つの破線はべき関数成分、鉄輝線成分、反射成分を示す。 χ^2_ν は0.99 ($\nu=18$)。

比べると、殆どの場合 χ^2_ν の値が大きくなっているとも言える。このようなことから、べき関数を二つもつモデルはあまり適したモデルではないだろう。これと同程度の χ^2_ν の値を示した熱制動放射に平らなスペクトルが加わったモデルは、鉄の輝線エネルギーの点で不都合であると考えられる。この論文で扱った四つのセイファート銀河の輝線エネルギーは、赤方偏移の効果を補正するとどれも 6.4 ± 0.2 keV の範囲に入る。このエネルギーは、鉄の電離度が X V III 以下の冷たいガス ($T < 10^5$ K) からの鉄の $K\alpha$ 線のエネルギーに合う [25]。これまで得られているセイファート銀河からの鉄輝線のエネルギーは、どれも ~ 6.4 keV で、数十 keV の温度を持つ熱制動放射で期待される 6.7 keV の輝線が観測されていないことから、熱制動放射と平らなスペクトルを持つモデルは大変考えにくい。

部分吸収モデルはコンプトン反射モデルで得られたものと同程度の χ^2_ν の値を与えるが、このモデルを適用できるのは非常に限られた場合だけである。LAC のエネルギー領域で、高エネルギーでの盛り上がり観測されるような濃いガスのコラム密度は、 10^{24}cm^{-2} 付近の狭い範囲だけである [23]。さらに、これらのガスによる反射成分が無視できるのは、濃いガスが我々の視線方向の狭い立体角内に集中しているときだけである。そうすると、高エネルギー部での盛り上がり観測されるようなセイファート銀河は非常に少ないはずであるが、少なくとも4つのセイファート銀河でこれが観測されており、さらに NGC4593 でも盛

表1 4つのセイファート銀河のスペクトルにいろいろなモデルを合わせたときの最適値と χ^2

セイファート銀河名	IC4329A		MCG-6-30-15		NGC4051		NGC7469	
	最適値	χ^2_ν	最適値	χ^2_ν	最適値	χ^2_ν	最適値	χ^2_ν
モデル		ν		ν		ν		ν
べき関数と一様な吸収	$\Gamma = 1.75 \pm 0.02$ $N_H = 21.0 \pm 0.4$	6.3	$\Gamma = 1.61 \pm 0.05$ $N_H = 21.6 \pm 0.4$	3.5	$\Gamma = 1.74 \pm 0.06$ $N_H = 21.3 \pm 0.5$	3.2	$\Gamma = 1.81 \pm 0.01$ $N_H \leq 21.0$	5.1
べき関数と一様な吸収に鉄の輝線と吸収端を付加	$\Gamma = 1.75 \pm 0.02$ $N_H \leq 21.0$ $N_{HFe} = 21.8 \pm 0.4$	4.4	$\Gamma = 1.64 \pm 0.05$ $N_H \leq 21.0$ $N_{HFe} = 22.5 \pm 0.2$	1.5	$\Gamma = 1.78 \pm 0.06$ $N_H \leq 21.6$ $N_{HFe} = 22.2 \pm 0.1$	2.3	$\Gamma = 1.82 \pm 0.01$ $N_H \leq 21.0$ $N_{HFe} \leq 21.0$	3.1
コンプトン反射	$\Gamma = 1.95 \pm 0.06$ $N_H = 21.6 \pm 0.1$	0.65	$\Gamma = 1.91 \pm 0.17$ $N_H = 21.9 \pm 0.2$	1.2	$\Gamma = 2.41 \pm 0.01$ $N_H = 22.0 \pm 0.1$	1.1	$\Gamma = 1.92 \pm 0.03$ $N_H \leq 21.0$	0.99
部分吸収	$C = 38.0 \pm 2.2$ $\Gamma_1 = 1.83 \pm 0.03$ $N_H = 21.4 \pm 0.2$ $N_{HC} = 24.4 \pm 0.2$ $f = 0.34 \pm 0.06$	0.87	$C = 12.3 \pm 1.5$ $\Gamma_1 = 1.70 \pm 0.07$ $N_H = 21.7 \pm 0.2$ $N_{HC} = 24.8 \pm 0.3$ $f = 0.60 \pm 0.21$	1.1	$C = 9.0 \pm 1.3$ $\Gamma_1 = 1.92 \pm 0.08$ $N_H = 21.7 \pm 0.2$ $N_{HC} = 24.4 \pm 0.4$ $f = 0.71 \pm 0.11$	0.8	$C = 12.9 \pm 0.4$ $\Gamma_1 = 1.88 \pm 0.03$ $N_H \leq 21.0$ $N_{HC} = 24.2 \pm 0.2$ $f = 0.28 \pm 0.07$	1.1
二つのべき関数	$C_1 = 45.8 \pm 0.3$ $\Gamma_1 = 2.01 \pm 0.30$ $C_2 = 0.43 \pm 0.01$ $\Gamma_2 = 0.49 \pm 0.21$	0.79	$C_1 = 12.6 \pm 3.1$ $\Gamma_1 = 1.70 \pm 0.17$ $C_2 < 0.05$ $\Gamma_2 = -1.12 \pm 0.38$	1.4	$C_1 = 12.5 \pm 0.2$ $\Gamma_1 = 2.20 \pm 0.02$ $C_2 = 0.05 \pm 0.01$ $\Gamma_2 = 0.10 \pm 0.53$	1.5	$C_1 = 13.1 \pm 0.6$ $\Gamma_1 = 2.03 \pm 0.07$ $C_2 = 0.71 \pm 0.60$ $\Gamma_2 = 1.05 \pm 0.23$	1.3

C, C_1, C_2 : 1keVでのエネルギー強度 (単位: 10^{-3} photons/cm²/keV/sec)
 $\Gamma, \Gamma_1, \Gamma_2$: 光子スペクトル指数
 N_H, N_{HFe}, N_{HC} : 順に水素原子, 鉄原子, X線源の一部だけを覆う濃いガスの水素原子のコラム密度の常用対数(コラム密度の単位は H atoms/cm²)
 f : X線源の内, 濃いガスで覆われている部分の割合
 χ^2_ν : 換算 χ^2
 ν : 自由度

り上がりのあるらしいことがわかっている [15]. これらのことから, 反射成分を含まないような, いわゆる純粋な部分吸収モデルは考えにくいということが出来る. 従って, セイファート銀河の X 線スペクトルを再現するモデルとしては, 反射成分が存在し, かつガスのコラム密度によっては強く吸収を受けた成分も存在するようなモデルがもっともらしいと考えられる. この反射と吸収の両者が効くモデルは自由変数を増やすだけで, 現在得られているデータの統計では明確な解答を得られないが, 今後の統計のよい観測で確かめることが出来るだろう.

コンプトン反射モデルは活動銀河核のスペクトルを説明するものとして, 既に何人かの理論的研究者達によって中心核付近の物質の物理的構造が議論されている [20, 21, 26, 27]. このモデルでは中心核の近く, 大体シュワルツシルド半径の 10–20 倍の所に, 高エネルギー光子に対しても光学的に厚く ($N_H > 10^{25} \text{cm}^{-2}$) 温度の低い ($T < 10^5 \text{K}$) 物質が塊状, フィラメント状, もしくは円盤状に存在し得て, この物質によって高エネルギー光子が吸収も受けながらコンプトン散乱によって反射されて視線上に入ってくる. この反射成分を含むスペクトルの形は, 特に 10 keV 以上の所でべき関数からの盛り上がりが生じる. これはまさに観測されたセイファート銀河の X 線スペクトルと同じ形をしている. またこのモデルでは, 光学的に厚く温度の低い物質によって吸収された後, 鉄原子からの蛍光として再放射される成分が存在することも期待される. この鉄輝線のエネルギーは 6.4 keV であると考えられ, セイファート銀河で観測された鉄の輝線エネルギーと一致する. さらに物質が円盤状になっているならば, 輝線の等価幅として数百 eV が期待される [28] が, これは観測された値と矛盾しない. このような反射成分は強い偏光を受けていることが考えられる [22]. これは将来の観測によって検出されるだろう.

NGC4051 の明るいときのデータを扱うことを快く承諾して頂いた名古屋大学の国枝秀世博士に深く感謝致します.

参考文献

- [1] Mushotzky, R.F. 1984, *Adv. Space Res.* Vol. 3, No. 10–12, p. 157
- [2] Petre, R., Mushotzky, R.F., Krolic, J.H., and Holt, S.S. 1984, *Ap. J.* **280**, 499
- [3] Turner, T.J. and Pounds, K.A. 1989, preprint
- [4] Holt, S.S. et al. 1980, *Ap. J. (Letters)*, **241**, L13
- [5] Reichert, G.A., Mushotzky, R.F., Petre, R.F., and Holt, S.S. 1985, *Ap. J.*, **296**, 69
- [6] Lightman, A.P. and Zdziarski, A.A. 1987, *Ap. J.*, **319**, 643
- [7] Wilkes, B. and Elvis, M. 1987, *Ap. J.*, **323**, 243
- [8] Turner, M.J.L. et al. 1989, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **41**, 345
- [9] Helpert, J.P. 1985, *Ap. J.*, **290**, 130
- [10] Perola, G.C. et al. 1986, *Ap. J.*, **306**, 508
- [11] Turner, T.J. 1987, *M.N.R.A.S.*, **226**, 9P
- [12] Branduardi-Raymont, G. 1986, in “The Physics on Accretion onto Compact Objects”, eds. K.O. Mason, M.G. Watson, and N.E. White (Berlin: Springer-Verlag), p. 407
- [13] Matsuoka, M., Yamauchi, M., Piro, L., and Murakami, T. 1989, submitted to *Ap. J.*

- [14] 山内誠, 1989年, 宇宙科学研究所報告, 第63号
- [15] Yamauchi, M., Piro, L., and Matsuoka, M. CONFERENCE PAPERS of 21st. ICRC, Jan. 1990, Adelaide, Vol. 1, OG1. 1-6
- [16] Makishima, K. 1986. in "The Physics on Accretion onto Compact Objects", eds. K.O. Mason, M.G. Watson, and N.E. White (Berlin: Springer-Verlag), p. 249
- [17] Krolic, J.H. and Kallman, T.T. 1984, Ap. J., **286**, 366
- [18] Pounds, K.A., Warwick, R.S., Culhane, J.L., and de Korte, P. 1986, M.N.R.A.S., **218**, 685
- [19] Warwick, R.S. et al. 1989, Publ. Astron. Soc. Japan, **41**, 721
- [20] Lightman, A.P. and White, T.R. 1988, Ap. J., **335**, 57
- [21] White, T.R., Lightman, A.P., and Zdziarski, A.A. 1988, Ap. J., **331**, 939
- [22] Matt, G., Costa, E., Perola, G.C., and Piro, L. proceeding of ESLAB Symp. 1989 Bologna
- [23] Piro, L., Matsuoka, M., and Yamauchi, M. proceeding of ESLAB Symp. 1989, Bologna
- [24] Piro, L., Matsuoka, M., and Yamauchi, M. in preparation
- [25] Kallman, T.R. and McCray, R. 1982, Ap. J. Suppl., **50**, 263
- [26] Guilbert, P.W. and Rees, M.J. 1988, M.N.R.A.S., **233**, 475
- [27] Ferland, A.C. and Rees, M.J. 1988, Ap. J., **323**, 141
- [28] Basko, M.M. 1978, Ap. J., **223**, 268