

「すざく」衛星による1型セイファート銀河 NGC4151のToO観測 (2011年)

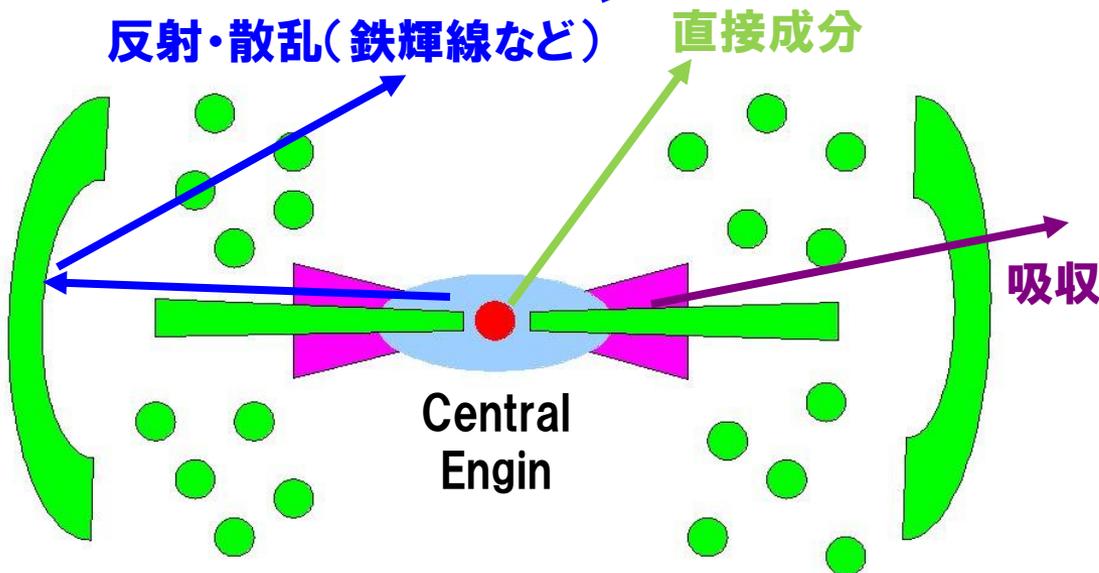
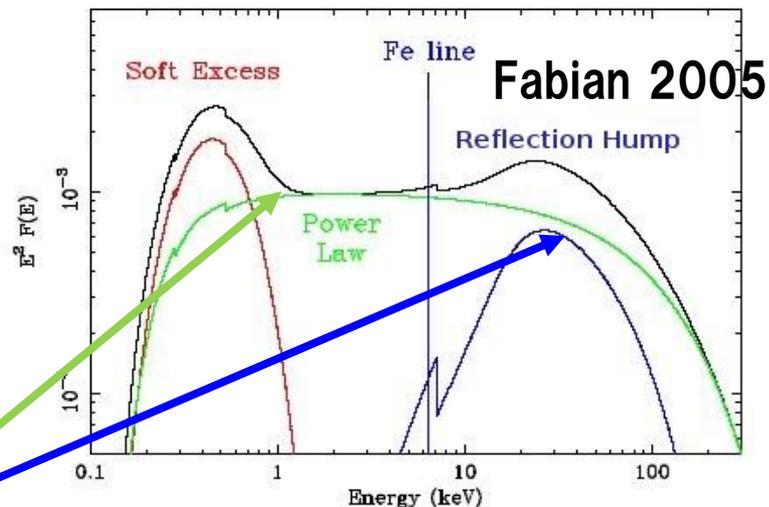
○平木 一至、深沢 泰司、高橋 弘充、大野 雅功 (広島大学)、
牧島 一夫、野田 博文 (東京大学)、山田 真也 (理化学研究所)

Seyfert銀河の広帯域X線スペクトル

直接成分や周辺物質からの反射成分
(i.e. 鉄輝線) 等が入り混じり複雑

「すざく」では徹底したバックグラウンド
除去により高感度かつ広帯域での観測
を可能に

→各成分を制限することができる



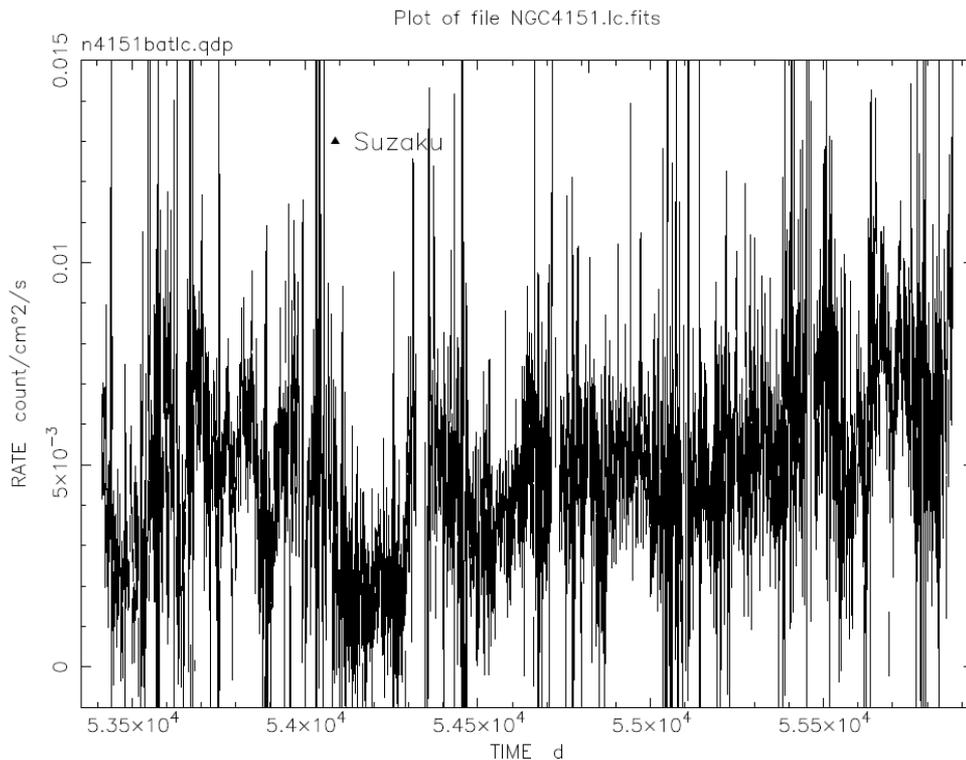
SeyfertのX線スペクトルは
フィッティングのみでは分離が
困難。
(直接成分、反射成分、吸収な
どが入り混じっているため)

フィッティングで求められる
各成分が正しいかどうか
独立した解析で確認が必要。

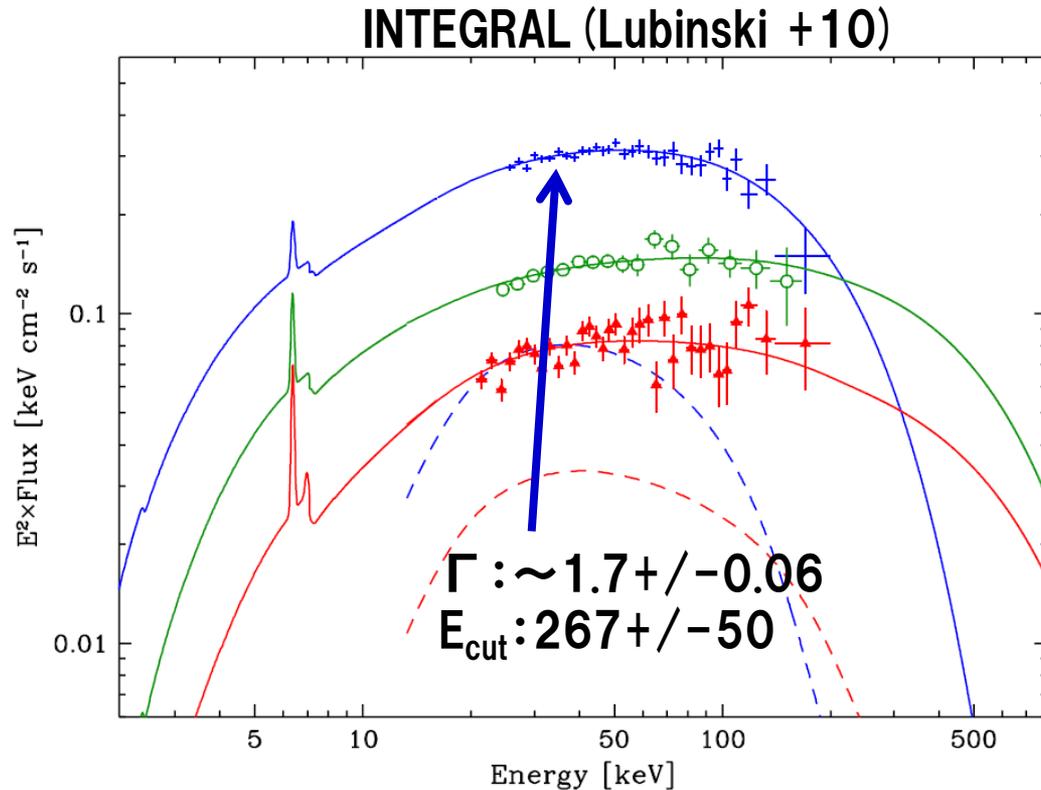
NGC4151

- NGC4151は2番目に明るいSeyfert銀河
- 過去NewtonやChandra、Swift、INTEGRALで観測されている
- 2009年頃から徐々に増光しはじめ、2011年10月の時点で歴史的な極大光度に達しているため、「すざく」でのToO観測を提案した

Swift/BAT 15-50 keVのライトカーブ



- OSSEでも $\Gamma : 1.6$ 、 $E_{\text{cut}} : \sim 100 \text{ keV}$ (Jonson et al. 1997)
- Swiftでも $\Gamma : 1.8 \pm 0.1$ 、 $E_{\text{cut}} : > 257 \text{ keV}$ (Beckmann et al. 2005)
- 「すざく」で E_{cut} をさらに厳しく制限。



- Kriss et al. (1995) によるとNGC4151ではUV-軟X線領域で吸収線のblue-shiftが観測されている。近年AGNで見つかり始めているFeの高電離ラインは報告がなく、こちらの検出にも期待できる。

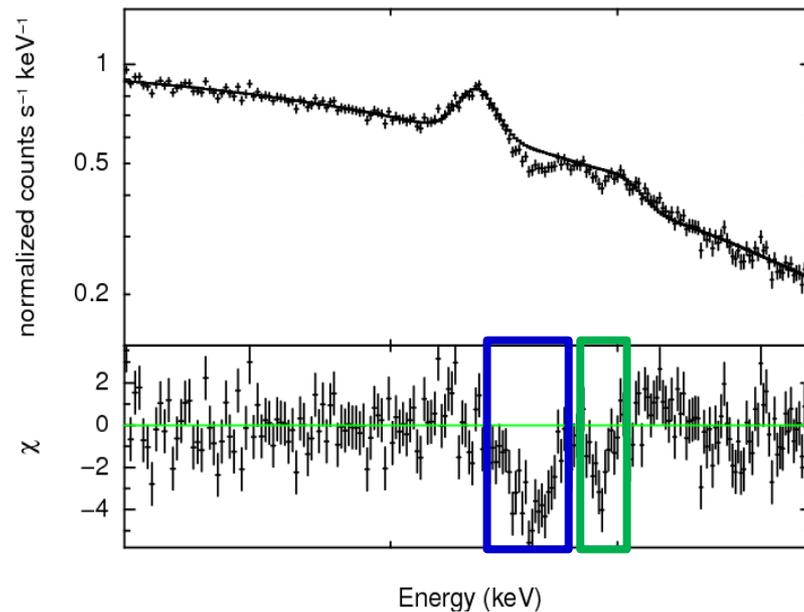
目的

**本研究では、NGC4151を用いて
広帯域X線スペクトル解析と
時間変動解析による放射成分の分離を行い
1型Seyfert銀河の周辺物質環境の精査を
行うことを目的としている。**

**本公演ではこの内、鉄輝線回りの吸収線構造と
広帯域スペクトル解析の結果について報告する。**

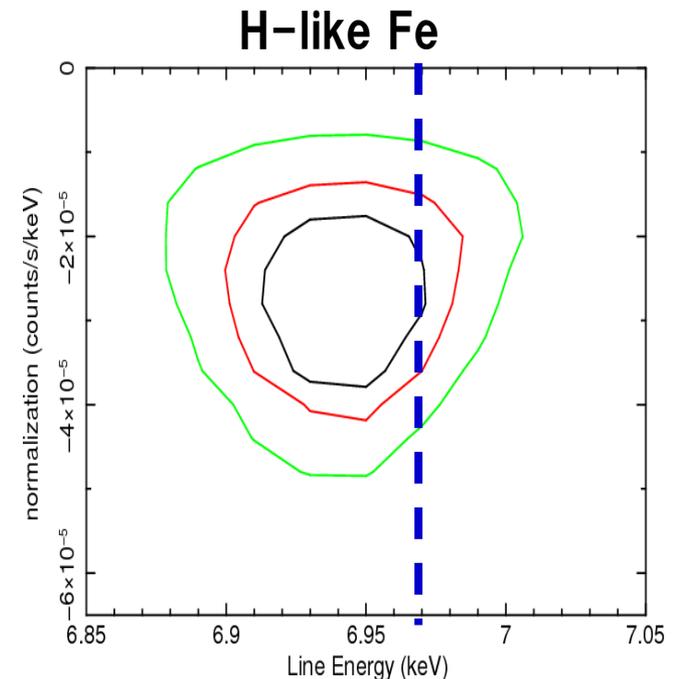
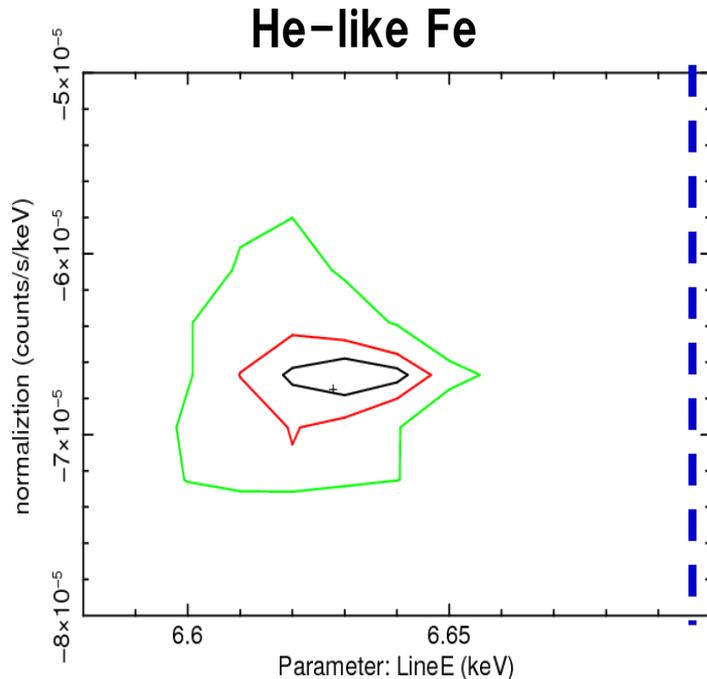
ラインプロファイル

- 2011-11-17と2011-12-18のXIS0,3を足したスペクトル (5-8 keV)
- Fe_{XXV} (6.697 keV) や Fe_{XXVI} (6.966 keV) の吸収線が見えている



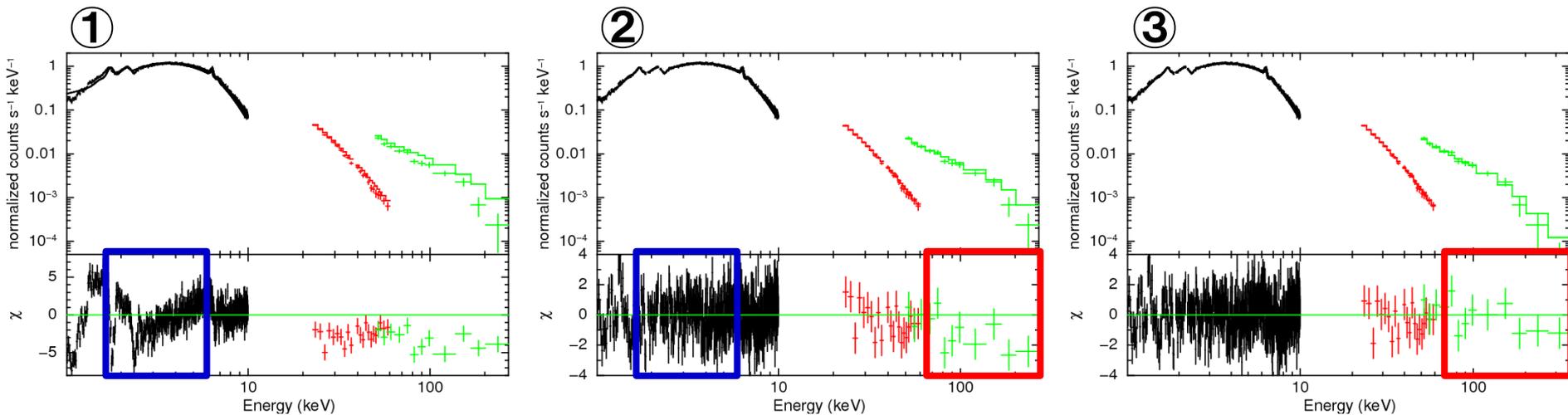
ラインプロファイル

- 2011-11-17と2011-12-18のXIS0,3を足したスペクトル (5-8 keV)
- Fe_{XXV} (6.697 keV) や Fe_{XXVI} (6.966 keV) の吸収線が見えている
- 吸収線のエネルギー (He & H-like Feの吸収線でコントアを作成)
 - He-like、H-like Feでラインエネルギーが低めに出る傾向がある。
 - 中心エネルギー: 6.626 keV ~ FeXXIII より
→ やや電離度の低い吸収体 + 高電離の吸収体を示唆



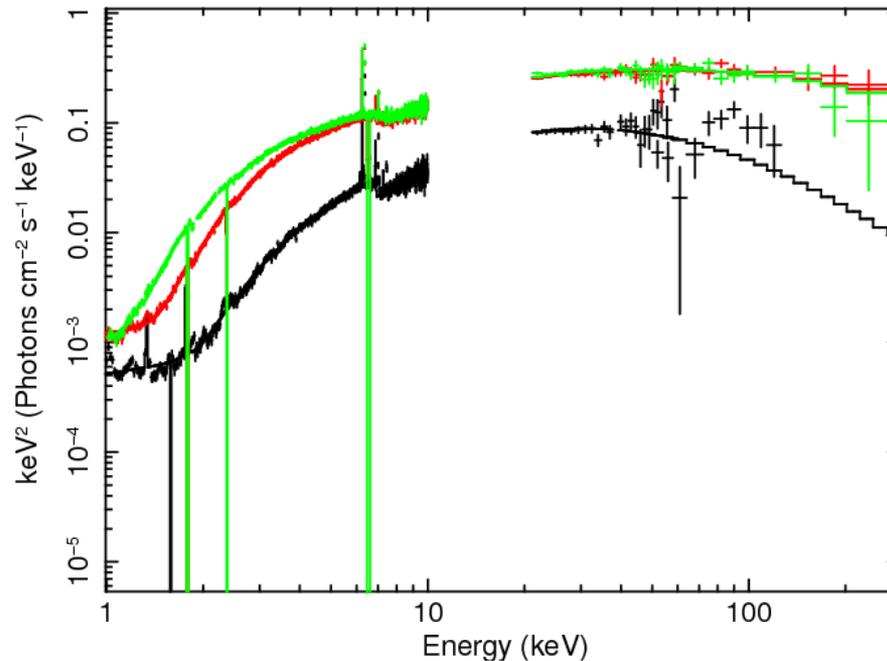
Wide Band Spectrum

- 2011-12-18観測の時間平均スペクトル。
- Fit Range: 1-300 keV、red-shiftは0.003319にfix。
- ①: 吸収×power-law (cut-offなし) + 反射成分
 - 反射成分にはpexmonモデルを使用 (Nandra et al. 2007)
 - 残差に大きなうねり (部分吸収)。
- ②: 吸収×部分吸収×power-law (cut-offなし) + 反射成分
 - 吸収構造の改善。GSOで残差のずれ、cut-offの存在?
- ③: 吸収×部分吸収×power-law (cut-offあり) + 反射成分 + gaussian × 3
⇒ Best Fit Model



ベキとFlux

- 3回の観測での Γ の値は一致、Lubinski et al. (2010)でも $\Gamma = 1.7 - 1.8$ と同程度

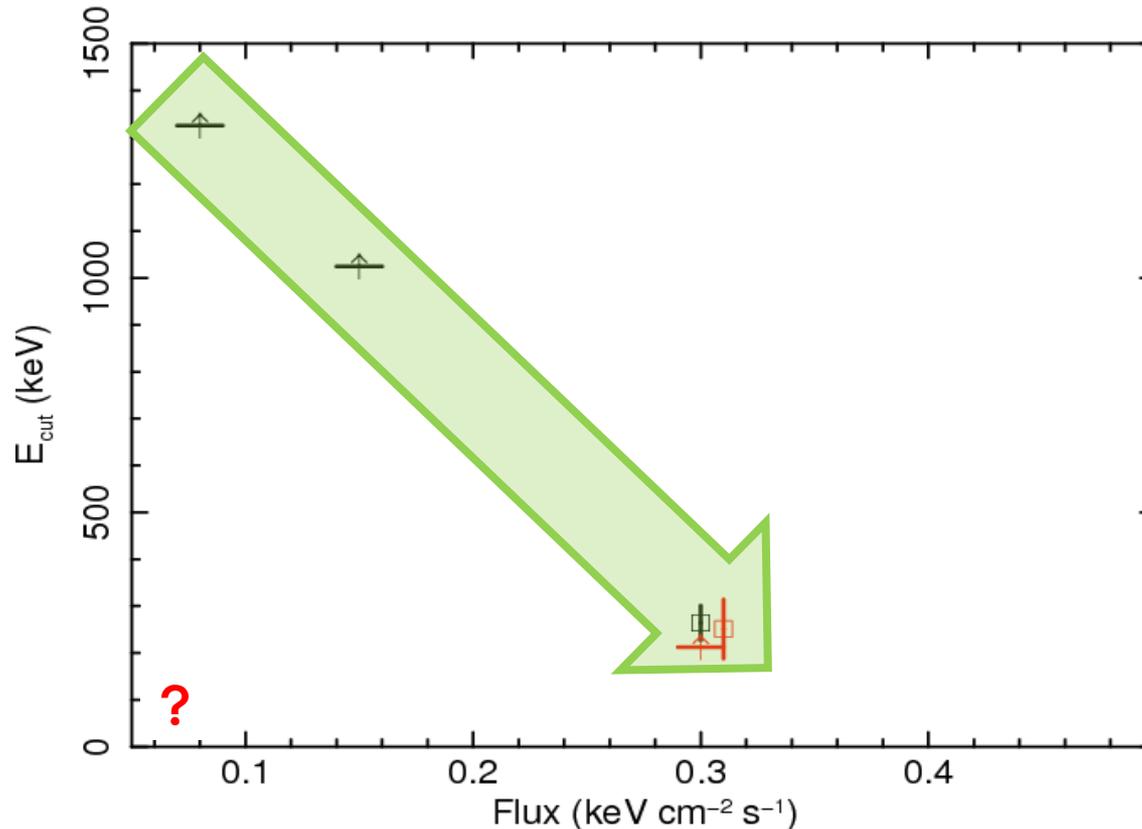


| | 2006-12-18 | 2011-11-17 | 2011-12-18 |
|--|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| Γ | $1.69^{+0.06}_{-0.06}$ | $1.73^{+0.02}_{-0.03}$ | $1.70^{+0.02}_{-0.02}$ |
| E_{cut} | $91.4^{+30.0}_{-19.3} *1$ | >212 | $250.9^{+76.4}_{-49.2}$ |
| Flux (keV/cm ² /s) @50 keV | 0.07 | 0.30 | 0.31 |

*1) 現在BGDの差引を模索中

カットオフとFlux

- 50 keVにおけるFluxと E_{cut} との相関
黒: INTEGRALの結果 (Lubinski +10)、赤: 「すざく」の結果。
⇒最大光度の観測から E_{cut} の下限を決定 ($E_{\text{cut}} > 251$ keV)。
- 2006-12-18の観測結果が、 E_{cut} がfluxと相関があるかどうか検証の鍵になる (現在NXBの検証中)。



まとめ

- 2011-11-17と2011-12-18のNGC4151のToO観測の解析を行い、過去、2006-12-18観測との比較を行った。
- 2011年の観測ではXIS、PIN、GSOで大きく増光していることが確認できた。
- 鉄輝線回りの詳細解析を行った。
 - 2011年の観測ではHe-like、H-like Feでラインエネルギーが低めに出る。
→やや電離度の低い吸収体 + 高電離の吸収体を示唆
- 広帯域スペクトル解析を行った。
 - スペクトルのベキは1.7程度のほぼ一定。
 - **NGC4151のカットオフエネルギーの下限値を決めることができた (>251 keV)。**

今後

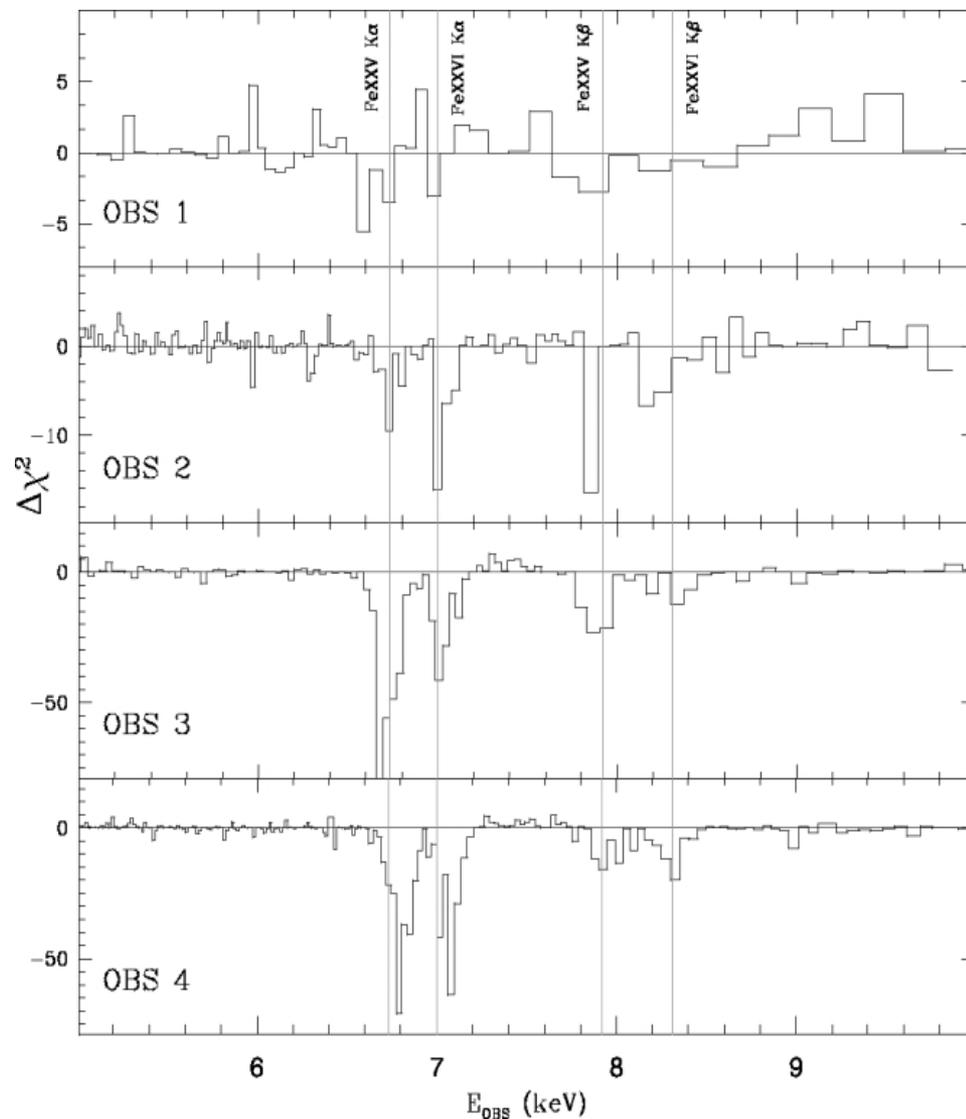
- XSTARで吸収線モデルを作成し、ラインエネルギー、幅などを調べることでラインエネルギーが本当にシフトしているかを調べる。この際、作成したモデルは光度や吸収量に大きく依存するため、モデルの精査が必要
- 3回の観測での時間変動解析を行い、広帯域スペクトル解析の結果と合わせて反射成分、吸収についての成分分離を行う。

予備

電離吸収線

- 近年、Seyfert銀河のX線スペクトルで高電離物質からの吸収線が見つかってきている
- Risaliti et al. (2005) では、NGC1365でH-likeやHe-likeなFeの電離線が見つかっており、これらがblue-shiftしていることが報告されている。
- Kriss et al. (1995) によるとNGC4151ではUV-軟X線領域で吸収線のblue-shiftが観測されており、高電離物質の吸収線の検出が期待できる。

Risaliti (2005)



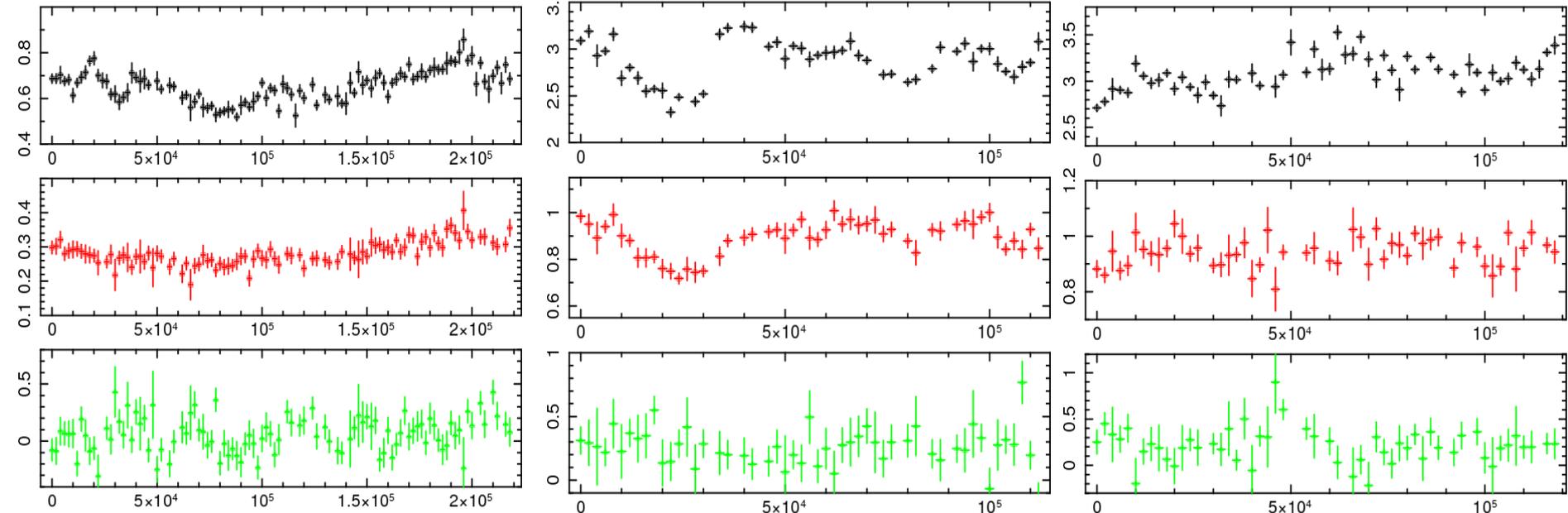
ライトカーブ

- NGC4151のライトカーブ。黒:XIS (4-9 keV)、赤:PIN (15-50 keV)、緑:(100-200 keV)。
- 2006年の観測と比較して2011年の観測では大きく増光している。
- 2011-11-17の観測では1観測内での変動 (XIS & PIN) でも受かっている。

2006-12-18

2011-11-17

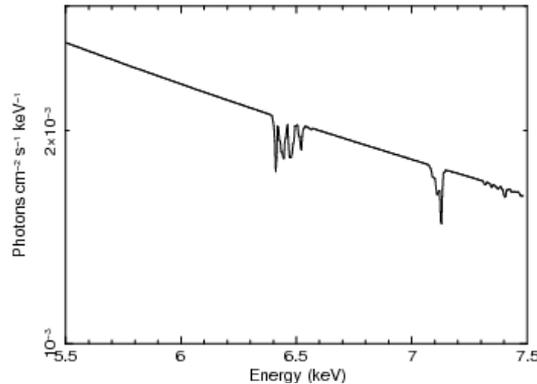
2011-12-18



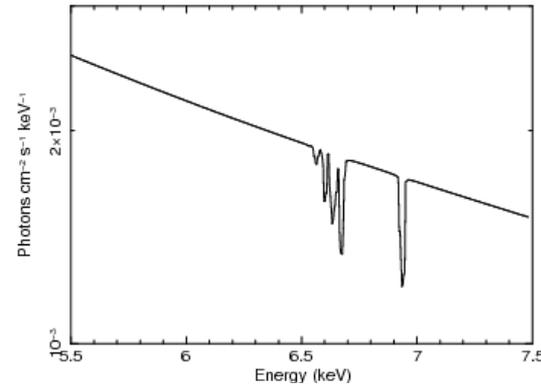
XSTARを用いた吸収線エネルギーの見積もり

- 電離度を変えた際の鉄輝線周りの吸収線の構造 (5.5–7.5 keV)
下図から電離度 $\xi = 3, 4, 5$ の時はH & He-likeの吸収線が確認できる。
 $\xi = 3, 4$ の時は周辺に他の吸収線が存在するため、これによりラインが幅を持ち、エネルギーが低く見積もられる可能性がある。

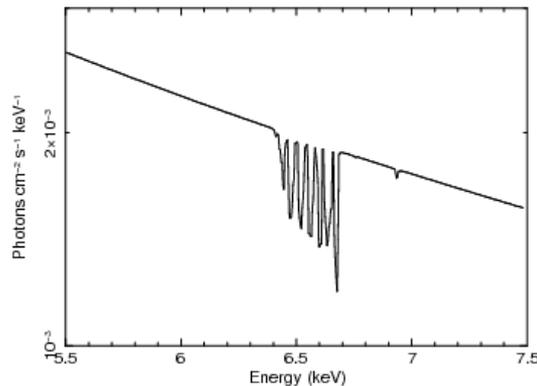
$\xi = 2.0$



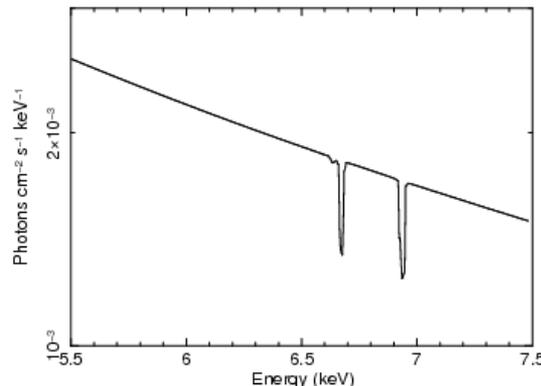
$\xi = 4.0$



$\xi = 3.0$



$\xi = 5.0$



XSTARを用いた吸収線エネルギーの見積もり

- 電離度を変えた際の鉄輝線周りの吸収線の構造
前項の吸収線モデルを用いてXISのスペクトルシミュレーションを行い、得られたスペクトルをgaussianでフィッティングし、He-like Feのラインエネルギーと幅を見積もり、比較した。
- $\xi = 3, 4$ の時はエネルギーが観測とはエラーの範囲でずれる。
- $\xi = 3.5$ の時はエネルギーは観測値一致するが、ライン幅がずれてしまう。
- 観測とモデルが合致しないため、現時点では吸収線のred-shiftを支持
But, XSTARを用いて作成した吸収線モデルは光度や吸収量に大きく依存するためさらなるモデルの精査が必要。

| ξ | エネルギー (keV) | 幅 (eV) |
|-------|---------------------------|------------------------|
| 観測 | $6.626^{+0.016}_{-0.015}$ | $17.4^{+33.5}_{-17.4}$ |
| 3.0 | $6.601^{+0.007}_{-0.006}$ | $96.0^{+9.5}_{-8.9}$ |
| 3.5 | $6.630^{+0.010}_{-0.009}$ | $82.9^{+17.5}_{-18.3}$ |
| 4.0 | $6.668^{+0.010}_{-0.010}$ | $33.1^{+25.6}_{-33.1}$ |

Wide Band Spectrum

- 3観測で見られるラインのリスト。赤:輝線、青:吸収線。
- 2006年と2011年の観測を比較すると2011年の観測では吸収線が目立つ。
- 2011年の観測では同種の吸収線が観測されているが、12月の観測の方が吸収線の強度が強くなる傾向がある。

| | 2006-12-18 | 2011-11-17 | 2011-12-18 |
|-----------------------|---|---|---|
| Line 1 (keV) | 1.335 ^{+0.007} _{-0.008} | 1.793 ^{+0.008} _{-0.011} | 1.794 ^{+0.003} _{-0.001} |
| Equivalent Width (eV) | 31.6 ^{+9.8} _{-7.9} | 18.6 ^{+3.7} _{-4.1} | 29.6 ^{+2.4} _{-2.7} |
| Line 2 (keV) | 1.589 ^{+0.012} _{-0.012} | 2.376 ^{+0.012} _{-0.009} | 2.386 ^{+0.010} _{-0.010} |
| EW (eV) | 38.7 ^{+8.0} _{-9.1} | 18.0 ^{+4.1} _{-4.3} | 16.4 ^{+3.5} _{-2.8} |
| Line 3 (keV) | 1.765 ^{+0.006} _{-0.011} | 6.636 ^{+0.022} _{-0.020} | 6.622 ^{+0.010} _{-0.010} |
| EW (eV) | 43.2 ^{+10.1} _{-9.8} | 16.6 ^{+3.6} _{-3.7} | 21.5 ^{+4.1} _{-4.0} |

Wide Band Spectrum

| | 2006-12-18 | 2011-11-17 | 2011-12-18 |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Γ | $1.69^{+0.06}_{-0.06}$ | $1.73^{+0.02}_{-0.03}$ | $1.70^{+0.02}_{-0.02}$ |
| nH (10^{22} cm^{-2}) | $8.6^{+0.4}_{-0.4}$ | $4.6^{+0.2}_{-0.2}$ | $2.7^{+0.1}_{-0.1}$ |
| reflection factor | $1.07^{+0.06}_{-0.06}$ | $0.46^{+0.02}_{-0.02}$ | $0.47^{+0.02}_{-0.02}$ |
| R flux (ergs/cm ² /s) | $6.78^{+0.38}_{-0.38} \text{e-11}$ | $1.37^{+0.06}_{-0.06} \text{e-10}$ | $1.43^{+0.06}_{-0.06} \text{e-10}$ |
| nH (10^{22} cm^{-2}) | $26.8^{+4.3}_{-3.8}$ | $9.0^{+1.3}_{-1.2}$ | $6.4^{+0.7}_{-0.6}$ |
| CuvFact | $0.50^{+0.03}_{-0.04}$ | $0.46^{+0.05}_{-0.04}$ | $0.46^{+0.03}_{-0.03}$ |
| cut off energy (keV) | $91.4^{+30.0}_{-19.3}$ | >212 | $250.9^{+76.4}_{-49.2}$ |
| $\chi^2/\text{d.o.f}$ | 982/645 | 793/646 | 908/637 |

カットオフとFlux

- 「すざく」とINTEGRALの観測 (黒:「すざく」2011-12-18観測)
「すざく」データはcut-off power-law、INTEGRALデータはcomppsを使用。
⇒最大光度時、 E_{cut} は同程度にもかかわらず、150 keV以上でfluxが異なる。
cut-off power-law以上にsharpに折れ曲がる。

