

Broad Band Temporal and Spectral Variation of 36 Active Galactic Nuclei Observed with Suzaku

(すざく衛星広帯域観測による36個の活動的銀河核の時間変動)

名古屋大学大学院 理学研究科
宇宙物理学研究室(Ux研)

宮澤拓也

概要

- 36個の活動銀河核の時間変動を調べる
- 15-50keVで早い時間変動(5ks)をする 4 天体を検出
- 時間変動を用いてスペクトルの成分分離ができた
- 多成分の相関を取ることで輻射機構のモデルやAGNの構造を限定

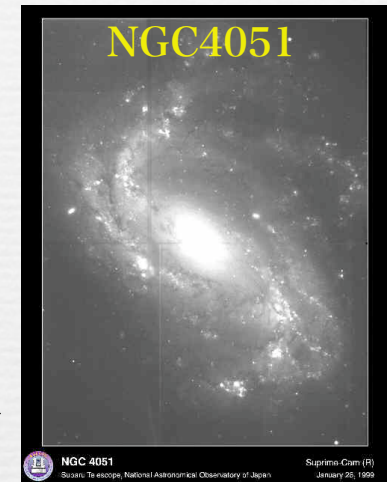
目次

- ❧ はじめに
 - ❧ 活動的銀河核
 - ❧ X線領域での特徴
- ❧ すごく衛星
- ❧ 観測結果
- ❧ 議論・考察
- ❧ まとめ

活動的銀河核(Active Galactic Nuclei)

可視光でみたAGN

- ☞ 銀河中心部に存在
- ☞ コンパクトな領域から、明るさ 10^{44-46} erg/sの放射
(通常の銀河の星の放射は $\sim 10^{44}$ erg/s)
- ☞ 銀河には10個に1個の割合でAGNが存在
- ☞ エネルギー源→大質量ブラックホールへの質量降着
($M \sim 10^8 M_{\text{sun}}$ 、円盤からの放射 $R = \sim 10^{14}$ cm)
- ☞ 電波からX線まで広い波長帯域で放射



可視光中の輝線スペクトルによる分類

AGNの統一モデル

Broad Line Region

高速運動するcloud

$n_e \sim 10^8 - 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

$T_e \sim 10^4 \text{ K}$

$d \sim 0.01 - 0.1 \text{ pc}$

Seyfert 1

中心核が直接見える

Seyfert 2

トーラス越しに観測
中心核とBLRが
隠されている

Seyfert typeの違いは
Viewing angle
本質的には同じ

Narrow Line Region

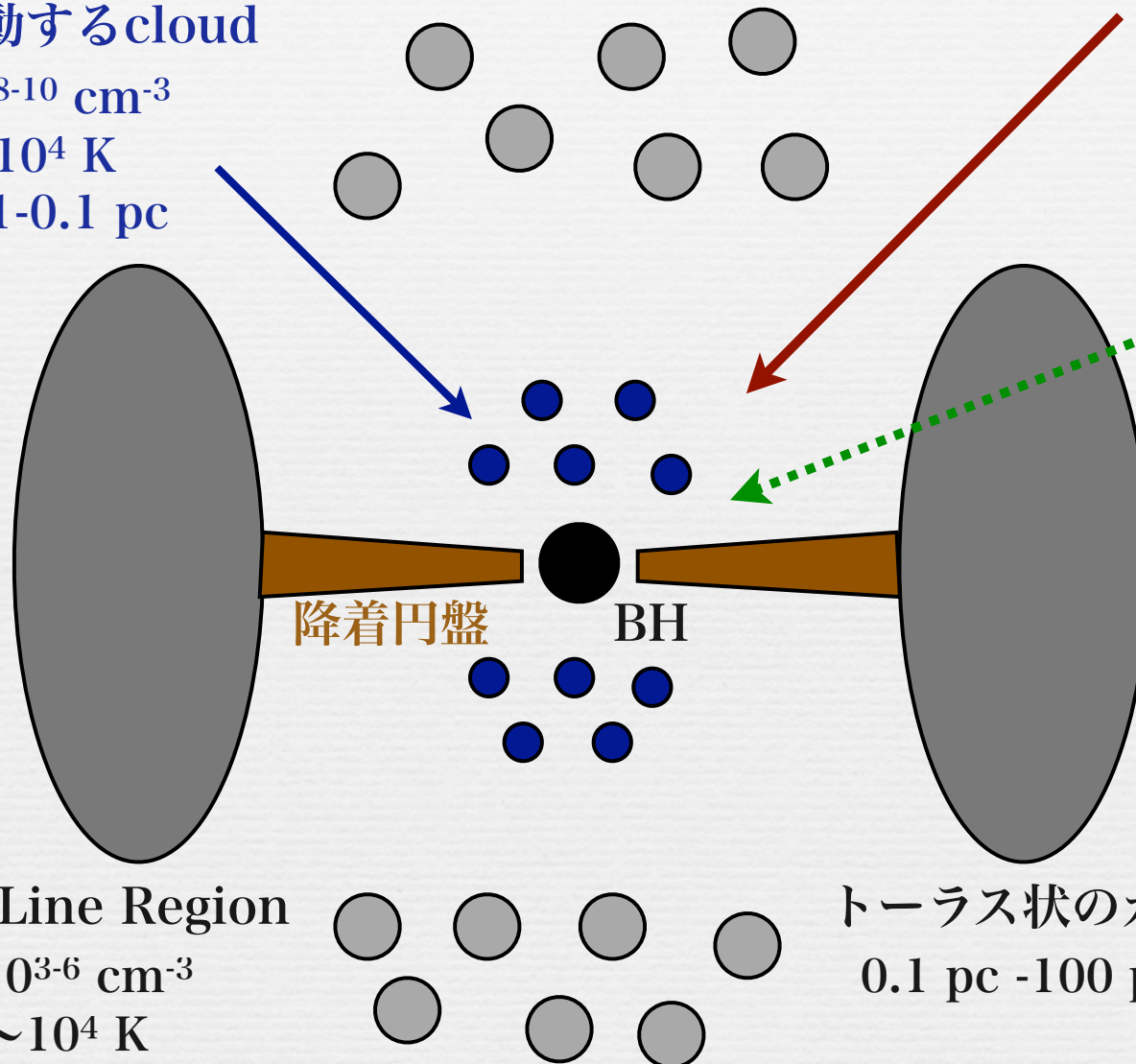
$n_e \sim 10^3 - 10^6 \text{ cm}^{-3}$

$T_e \sim 10^4 \text{ K}$

$d \sim 100 \text{ pc}$

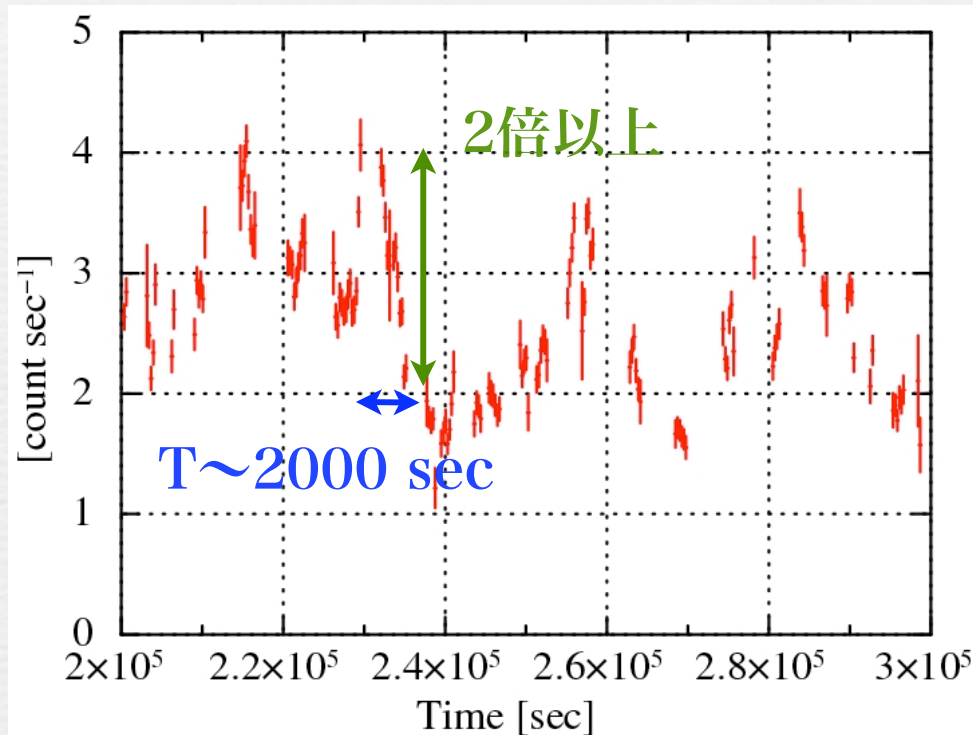
トーラス状のガス

$0.1 \text{ pc} - 100 \text{ pc}$



AGNのX線での時間変動

MCG-6-30-15
(0.5 - 10keV)



- 短い時間で大きな振幅の変動
- 変動のタイムスケール→システムのサイズを反映
- 激しい変動はX線領域でのみ見られる
- BH近傍の物理を知るためにはX線観測が必須

$$d \sim 2000 \text{ sec} \times c = 6 \times 10^{13} \text{ cm}$$

非常にコンパクトな領域

AGNのX線スペクトル

すごくで得られたX線スペクトル

MCG-6-30-15

☞ power law成分

☞ 2-10keVで主要な成分

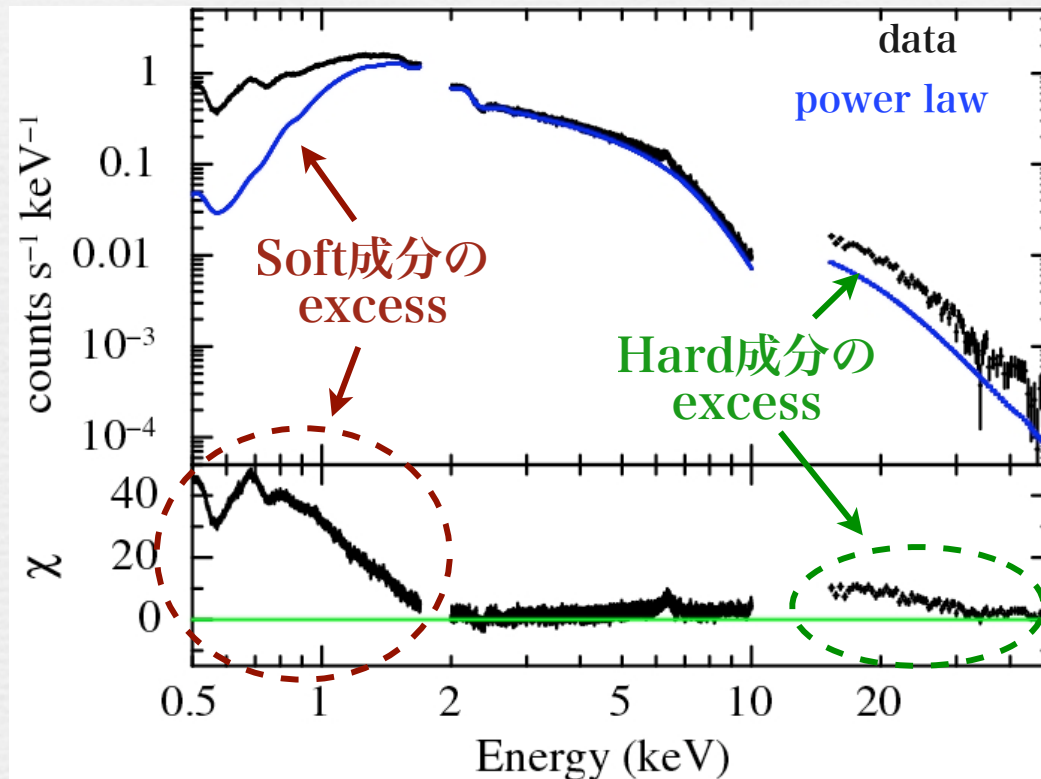
☞ Soft側、Hard側にexcess

☞ power law以外の成分

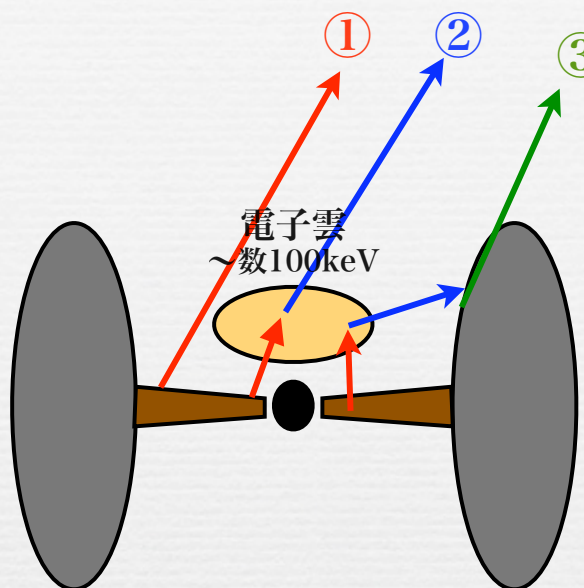
☞ 成分の起源には様々なモデル

☞ soft側→black body

☞ hard側→反射成分



X線スペクトルのモデル例



①soft成分(<2keV)

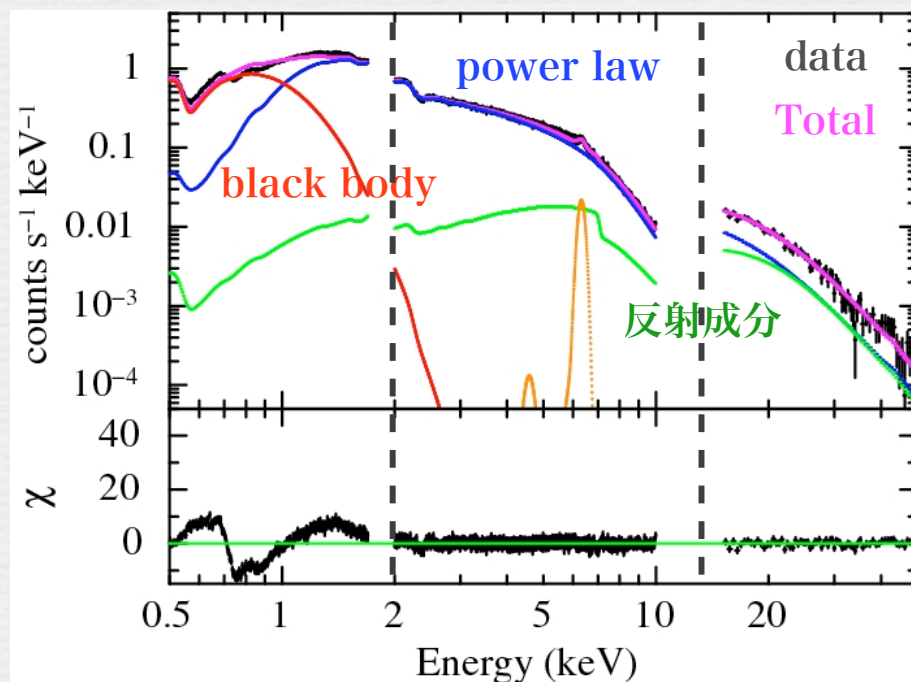
降着円盤からのblack body

②power law成分(2-10keV)

円盤からのsoft photonは
電子雲内で逆コンプトン散乱

③反射成分(>10keV)

光学的に厚い低温物質による反射
コンプトン散乱&光電吸収



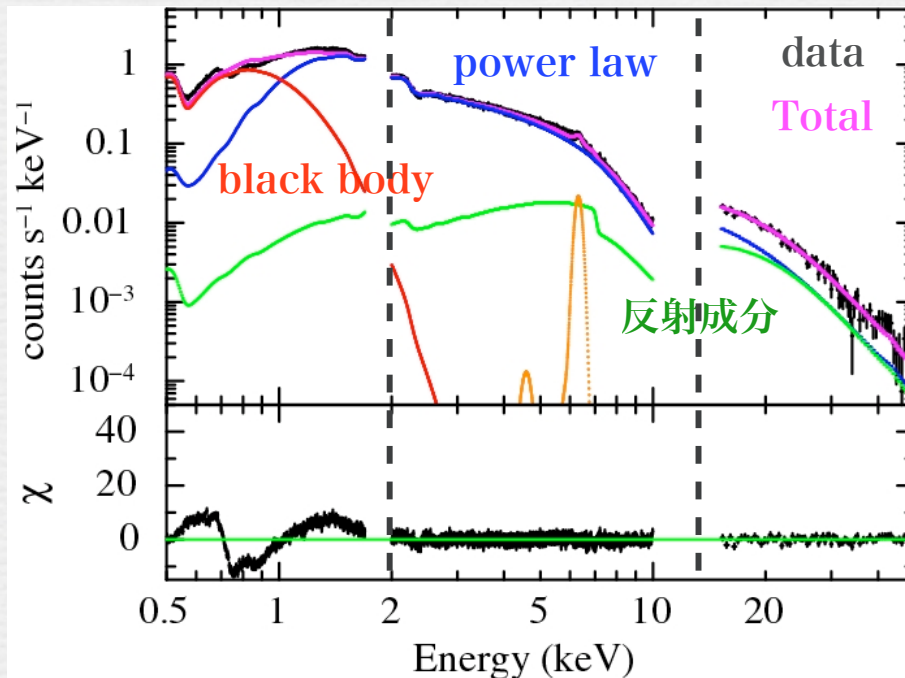
中心核の強度変動



各成分に相関関係

研究の目的

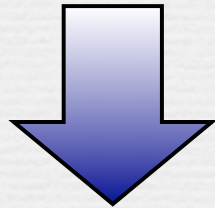
- 各成分で異なる時間変動
 - エネルギーバンドによる違い
 - 各バンドでの相関
- 複雑なスペクトルを時間変動により成分分離
- 成分分離により放射機構の分離→AGNの構造



必要な条件

- ♪ 短い時間変動まで観測可能であること
- ♪ 硬X線領域でも統計の良いデータが得られること
- ♪ 広帯域な波長で同時観測ができること

これらの要求を**全て**満たす観測装置



すざく衛星に着目

すざく衛星

日本で5番目のX線天文衛星

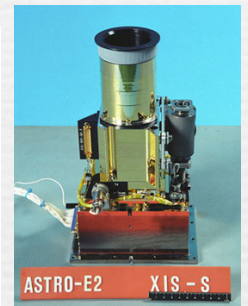
2005年7月10日 打ち上げ



- ❧ 軟X線撮像システム(0.2~12keV)
 - ❧ X線望遠鏡(XRT)+X線CCDカメラ(**XIS**)×4台
 - ❧ **FI**:表面照射型、**BI**:裏面照射型
- ❧ 硬X線非撮像システム(10~600keV)
 - ❧ 硬X線検出器(HXD)×1台
 - ❧ **PIN**型半導体検出器(10-70keV)、
 - ❧ GSOシンチレータ
- ❧ XISとHXD/PINの組み合わせで
0.2-70keVのエネルギーバンドをカバー



XRT



XIS



HXD

観測結果

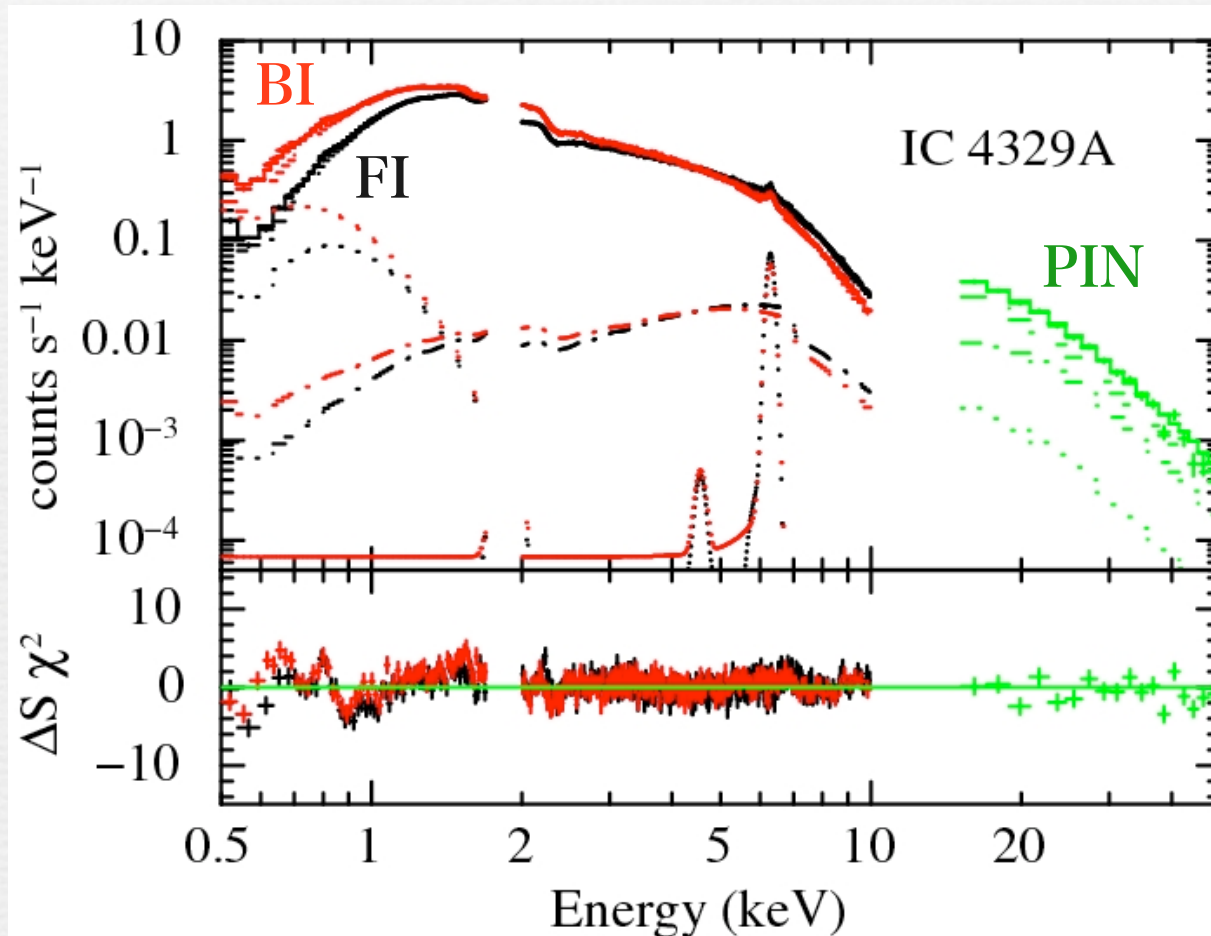
解析に用いたサンプル

- 公開されているデータのうち明るい方から36天体を選択
- 観測時期：2005年8月～2007年8月
- Flux(2-10keV)で3桁、Luminosityで4桁の明るさの天体をカバー

(サンプルの内訳)

Type	個数
NLS1	6個
Seyfert 1	6個
Seyfert 1.2-1.9	9個
Seyfert 2	15個

観測されたスペクトルの例

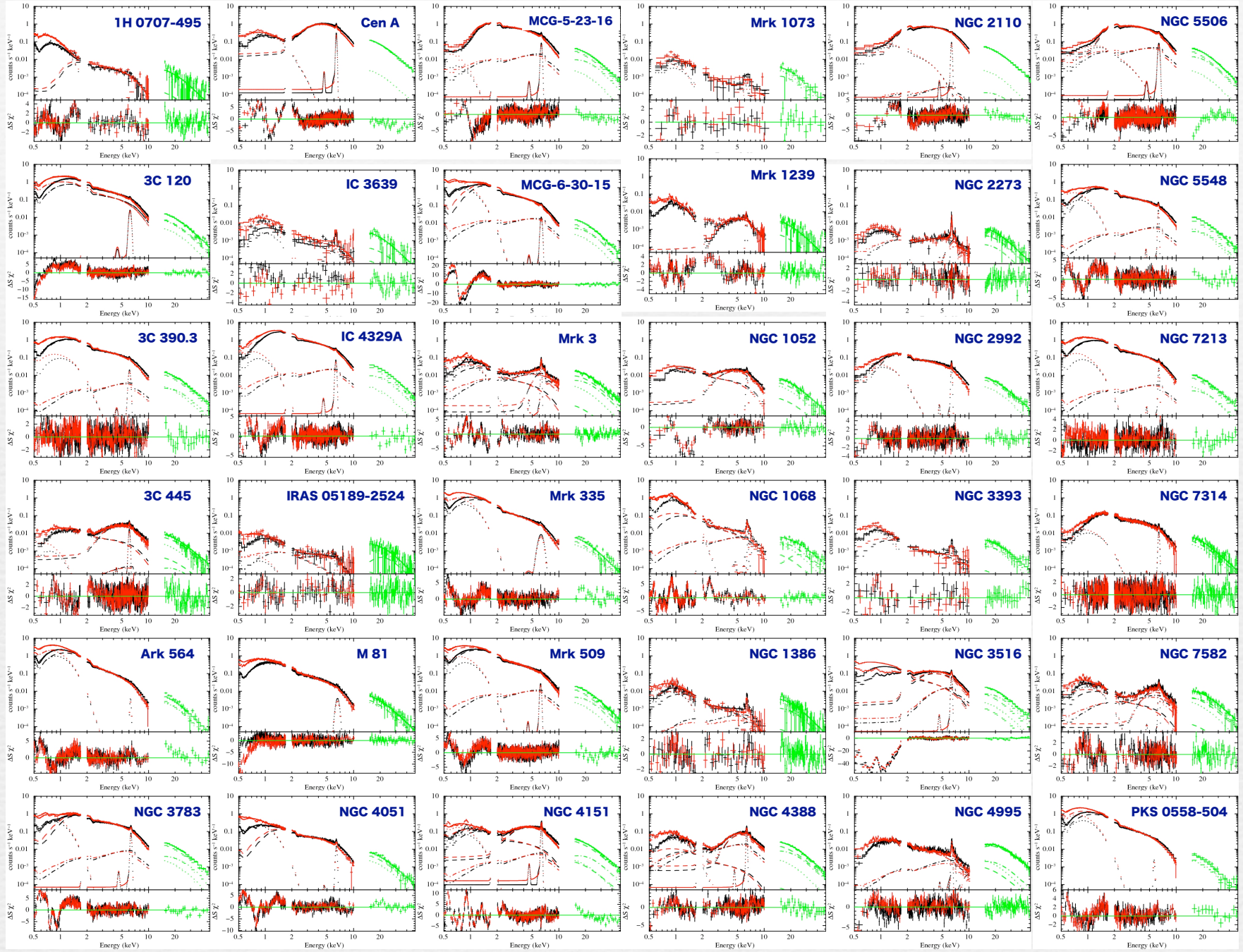


power lawでFit

2keV以下の残差
→black body

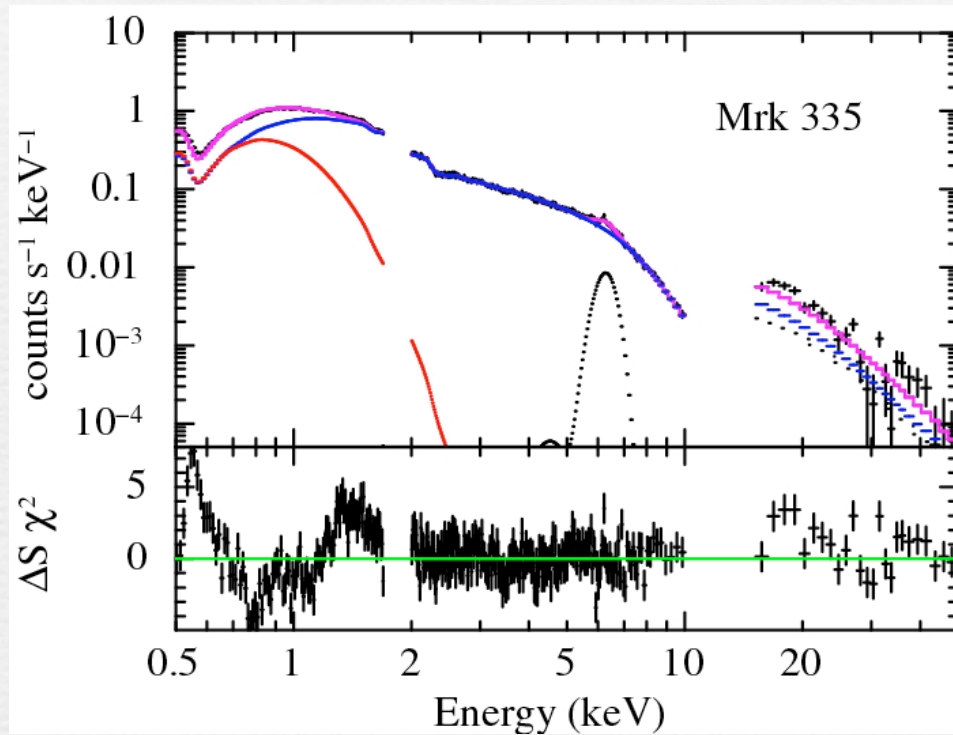
10keV以上の残差
→反射成分

3つの成分で連続成分を再現



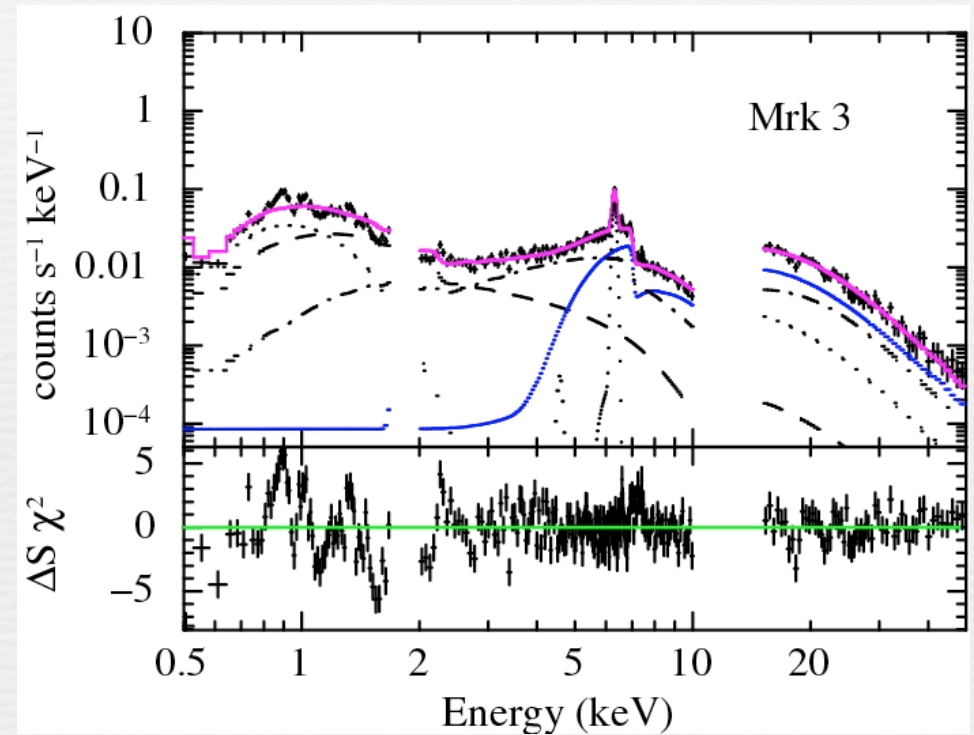
代表的なスペクトル

NLS1



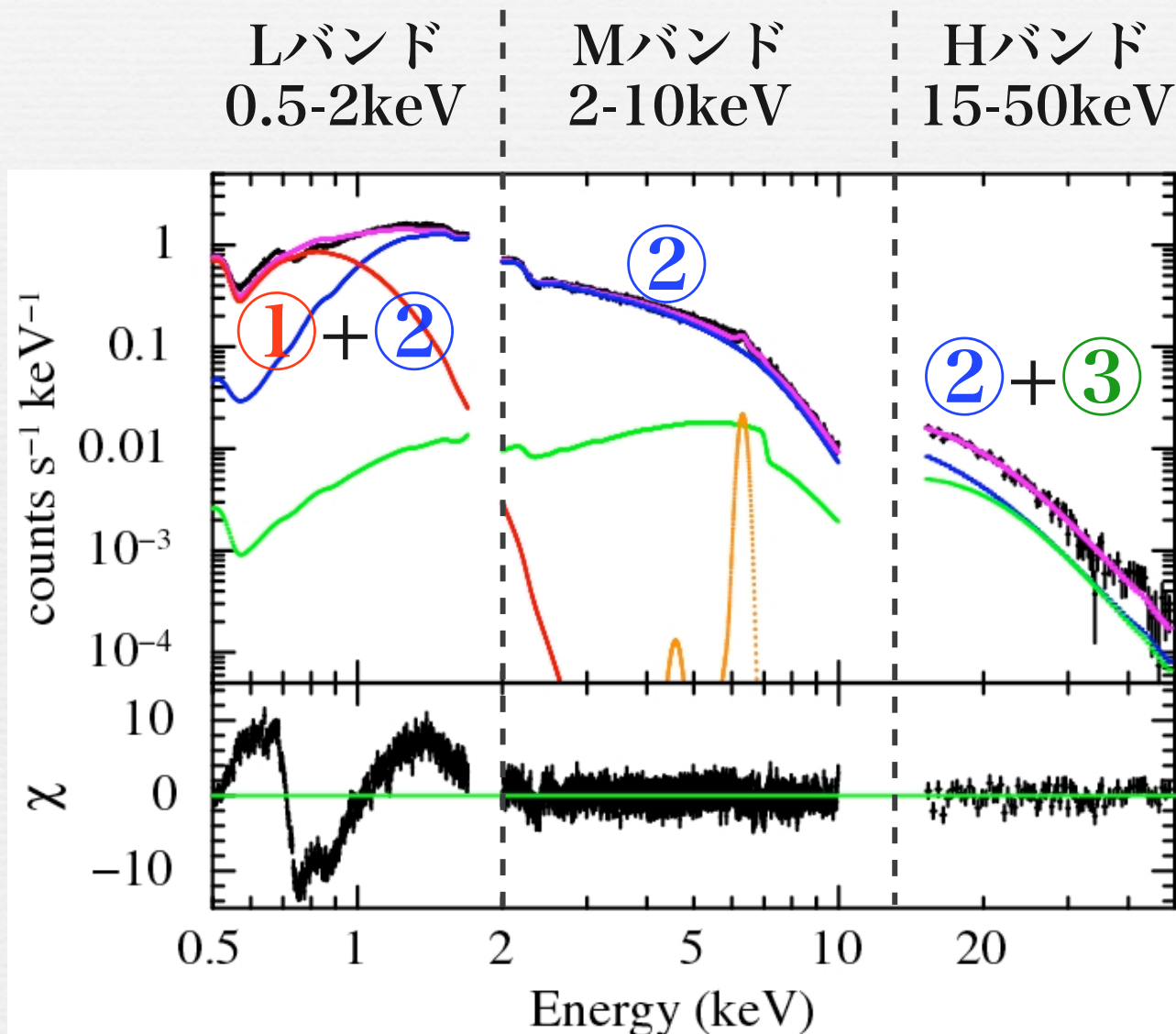
soft 成分強い

Seyfert 2



吸収を受けたpower law
強い鉄輝線

エネルギーバンドの切り分け



①soft成分

②power law成分

③反射成分

各バンドでの
強度変動

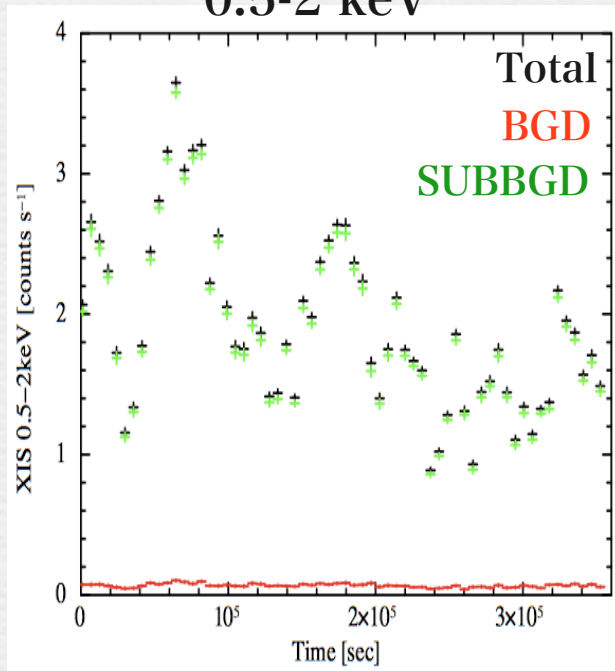
3バンドにおけるライトカーブ

- ☞ L,M,Hの3バンドでライトカーブを作成
- ☞ 1bin = 5760sec (衛星の軌道周期)

(例)MCG-6-30-15

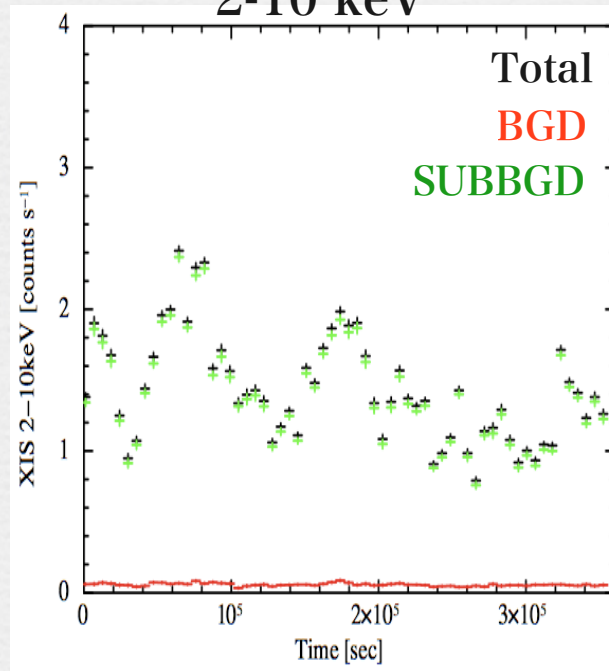
L-band

0.5-2 keV



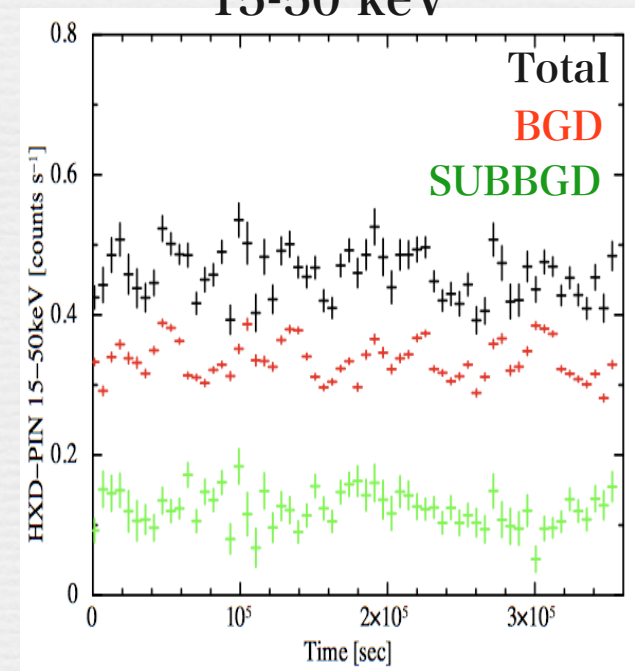
M-band

2-10 keV



H-band

15-50 keV



変動の有意性

σ_{vari} : intrinsicなゆらぎ

σ_{obs} : データ点ゆらぎ

σ_{stat} : 平均統計ゆらぎ

σ_{NXB} : NXBゆらぎ

❧ 天体のintrinsicな時間変動

$$\text{❧ } (\sigma_{\text{vari}})^2 = (\sigma_{\text{obs}})^2 - (\sigma_{\text{stat}})^2 - (\sigma_{\text{NXB}})^2$$

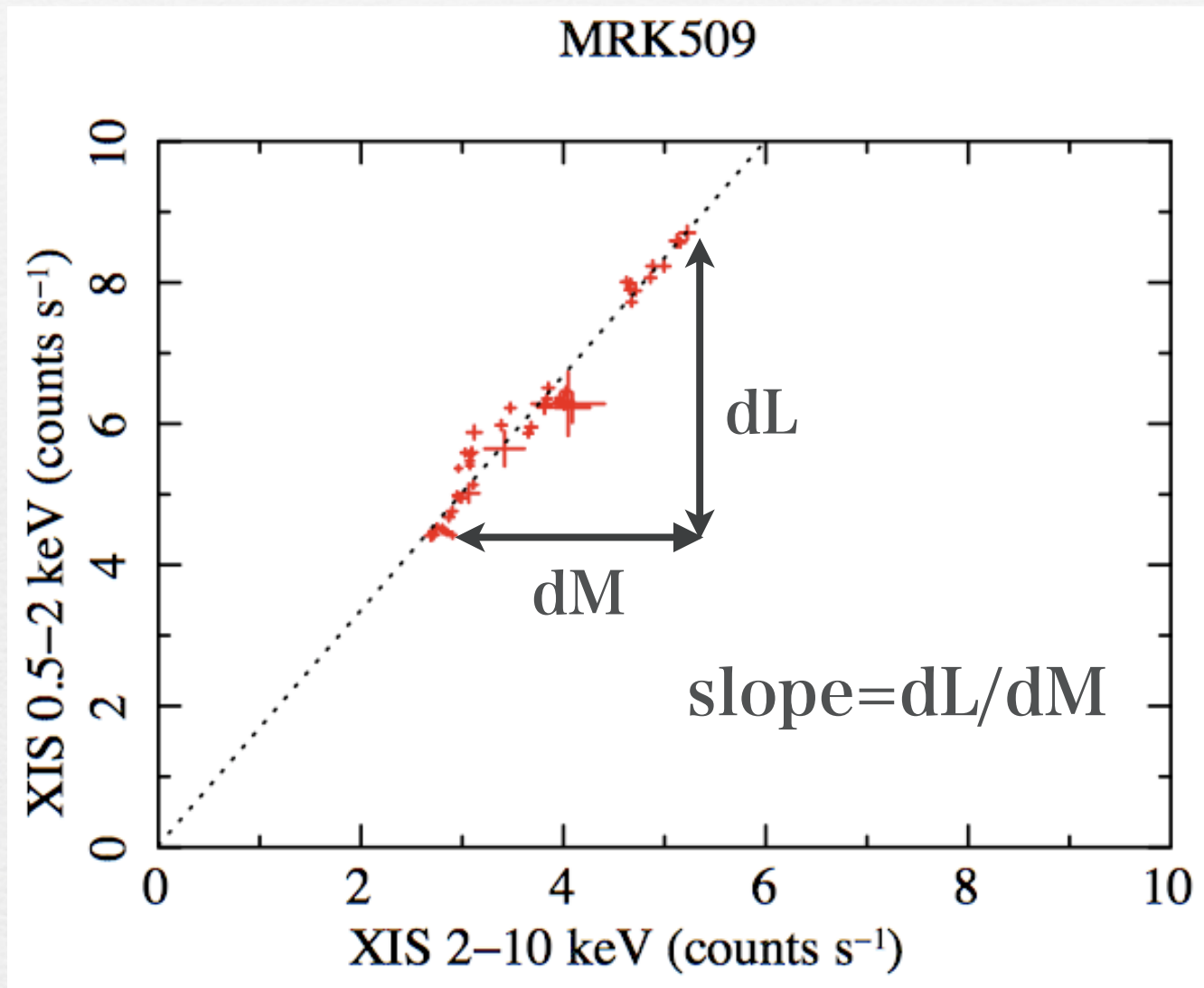
❧ L, M, H の少なくとも一つで時間変動を持つ →20天体 $(\sigma_{\text{vari}} > 3 \sigma_{\text{stat}})$

❧ H(15-50keV)バンドで4天体から有意な時間変動(5ks)を検出

❧ MCG-5-23-15, NGC2110, NGC4945, NGC5506

Lバンド-Mバンドの相関

LバンドとMバンドの相関の例



Lバンド-Mバンドの相関

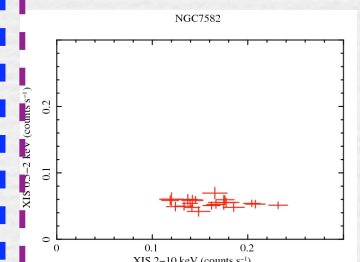
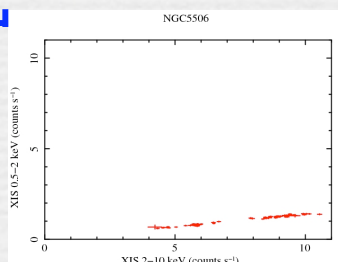
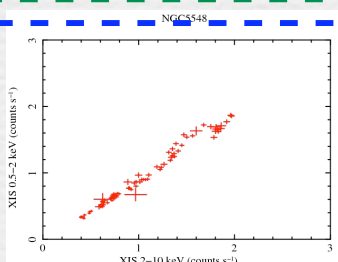
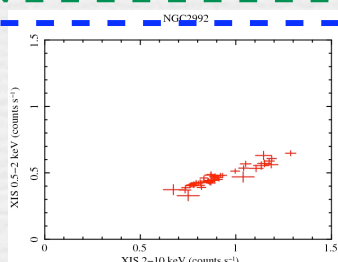
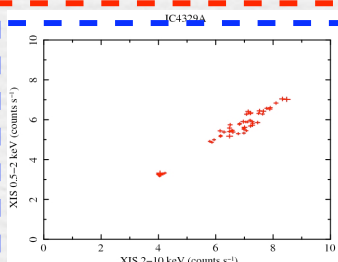
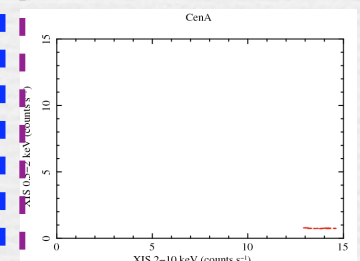
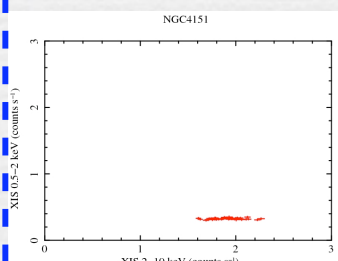
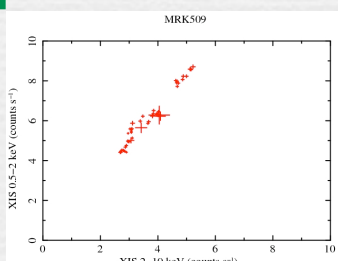
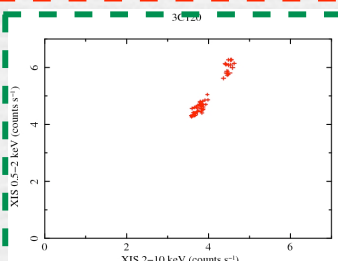
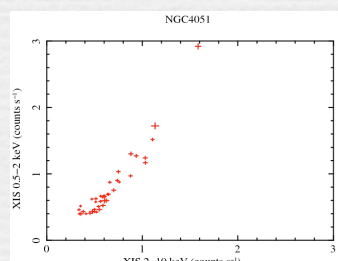
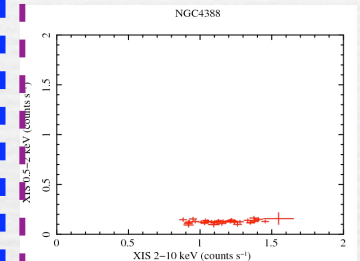
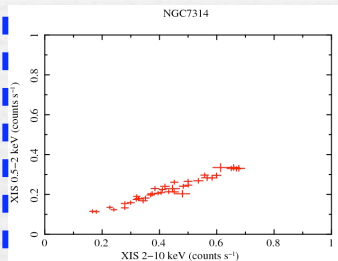
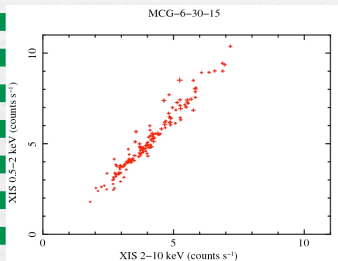
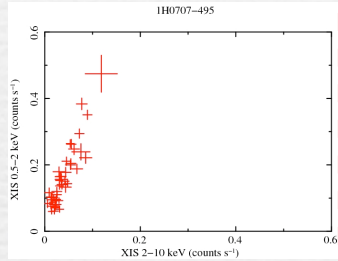
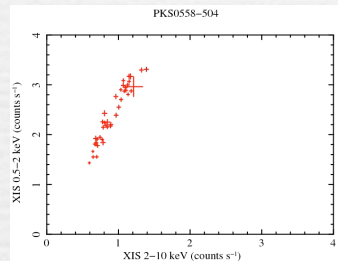
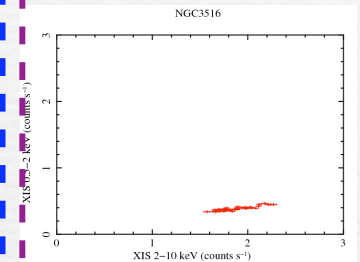
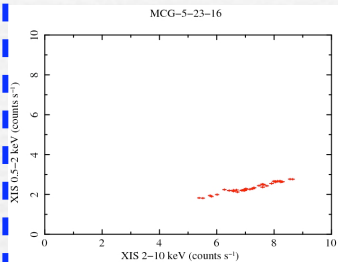
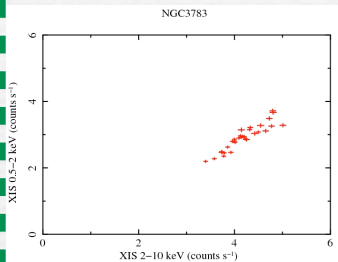
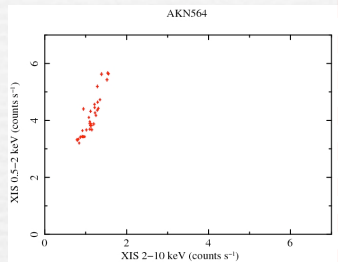
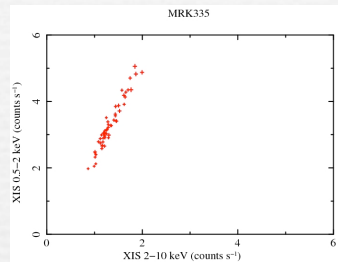
ほとんどの天体が原点を通る直線上

NLS1

Seyfert 1

Seyfert 1.2-1.9

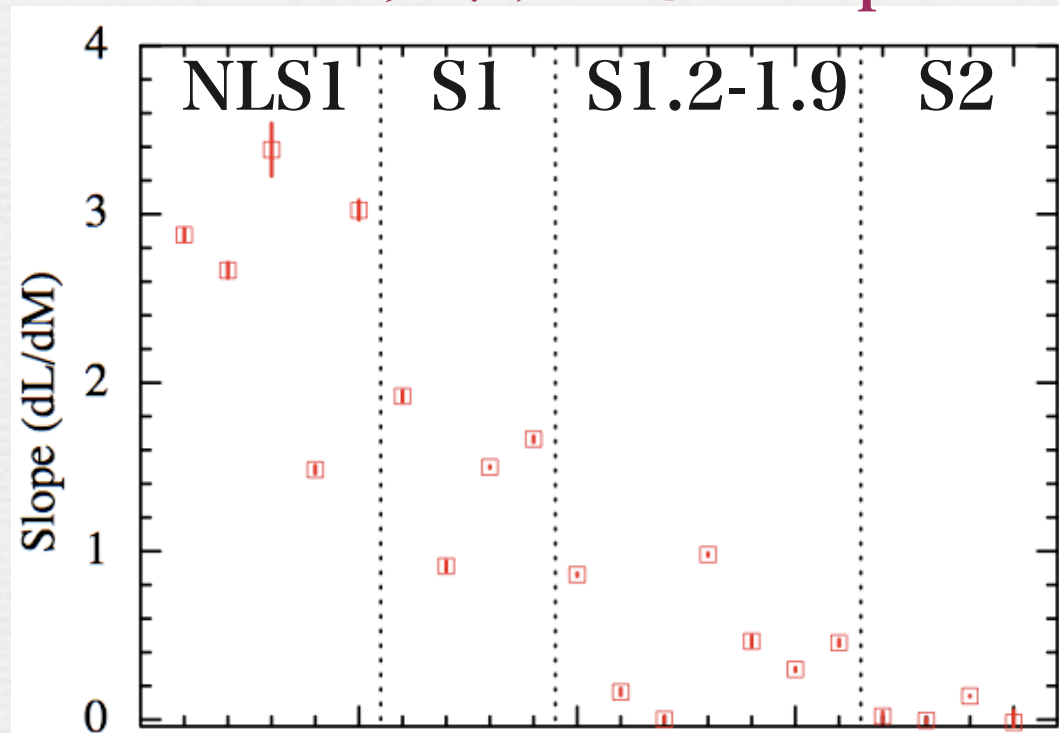
Seyfert 2



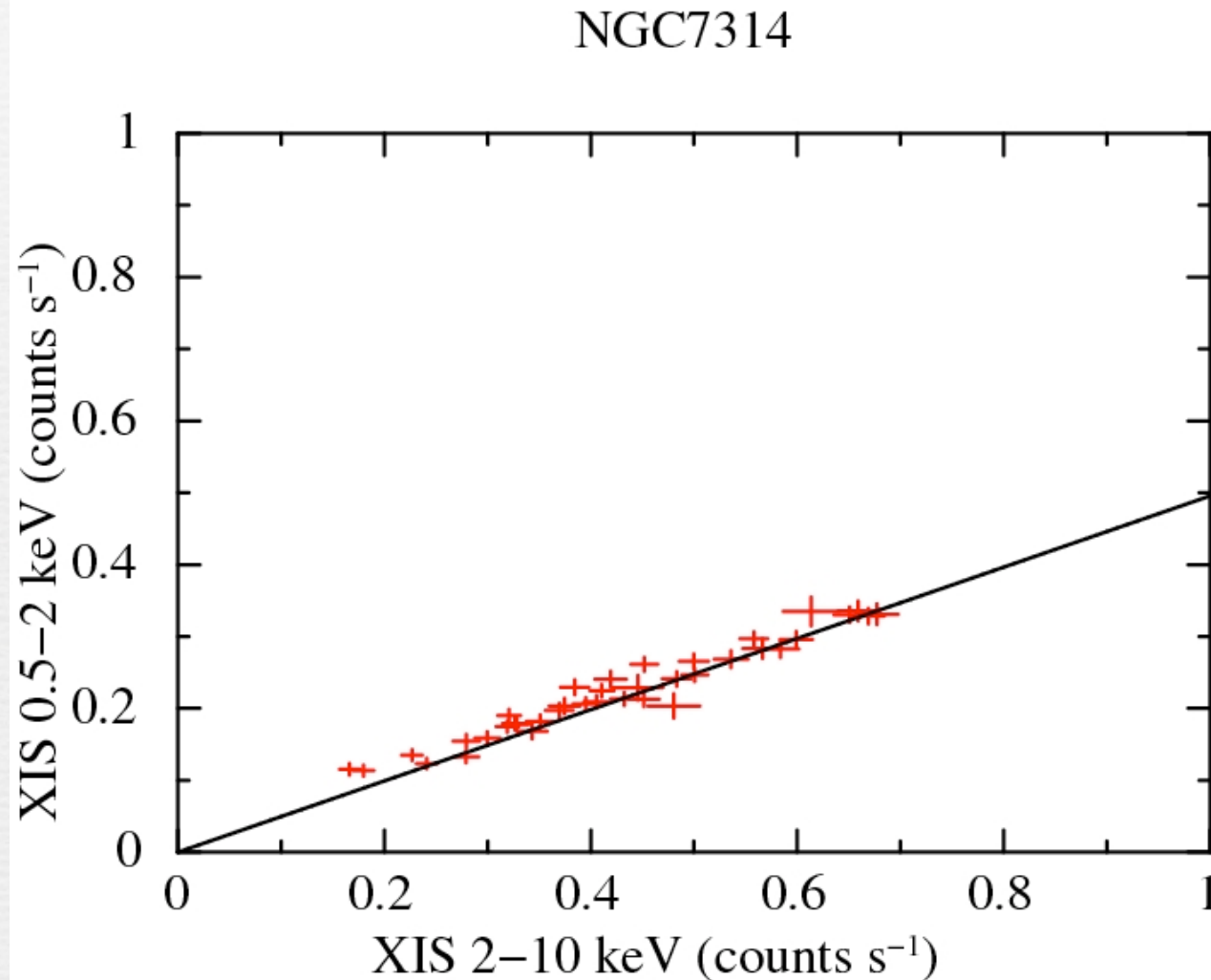
L-Mバンドでの相関

- ほとんどの天体が原点を通る直線上
- AGNタイプによって異なるslope(dL/dM)
 - NLS1：傾き急、Seyfert2：傾きフラット

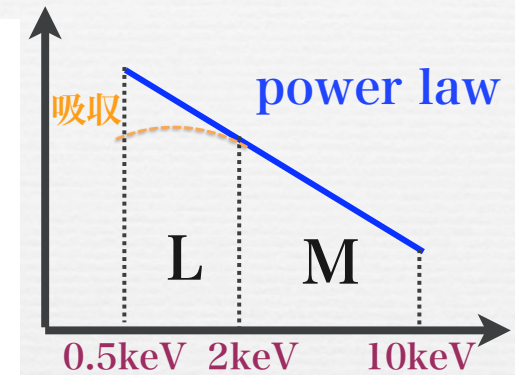
AGNタイプごとのslope



相関の傾き



LI=0.4957 , WV= 129.9 , N= 38.00

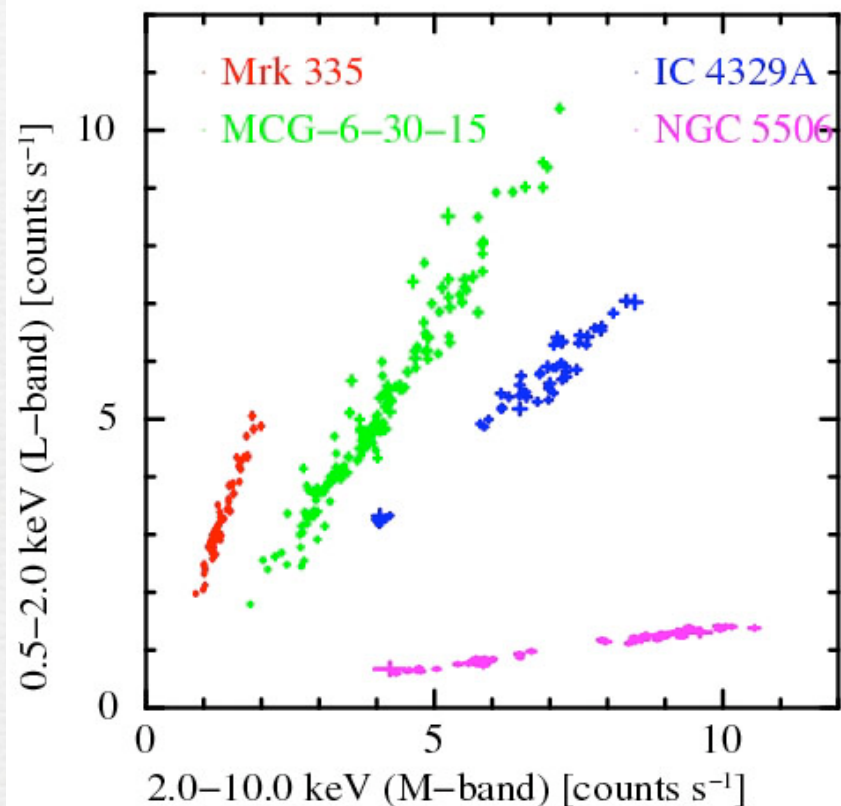


power lawの
べきと吸収量
を検出

↓
LとMでのFlux
の比が決定

↓
相関の傾き
を表す

Discussion

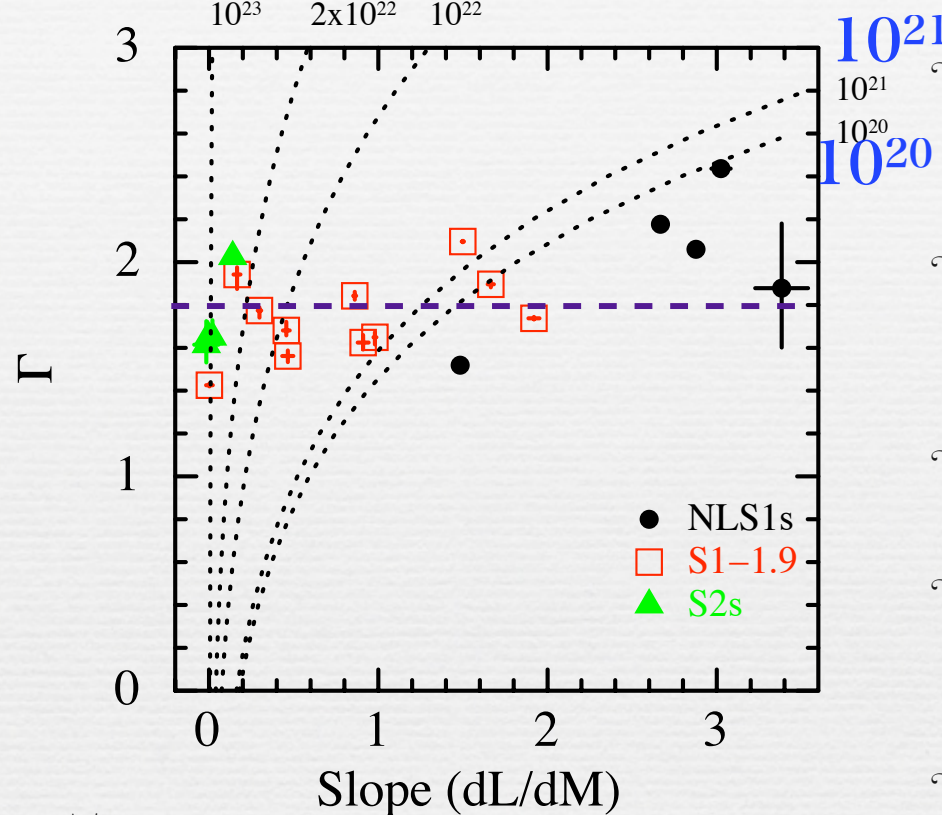


各天体のL-M相関

- 代表的な天体のL-M相関図
- 各spectral fitting → べき、吸収量決定
- 点線：べきと吸収量を固定し強度のみが変化
- NGC 5506, IC 4329A
 - 吸収+power lawで説明がつく
- Mrk 335, MCG-6-30-15
 - 吸収を受けたpower law成分以外にsoft 成分の超過
 - soft成分は吸収を受けたpower law と同期し、形を変えずに変動

べきとslopeの相関

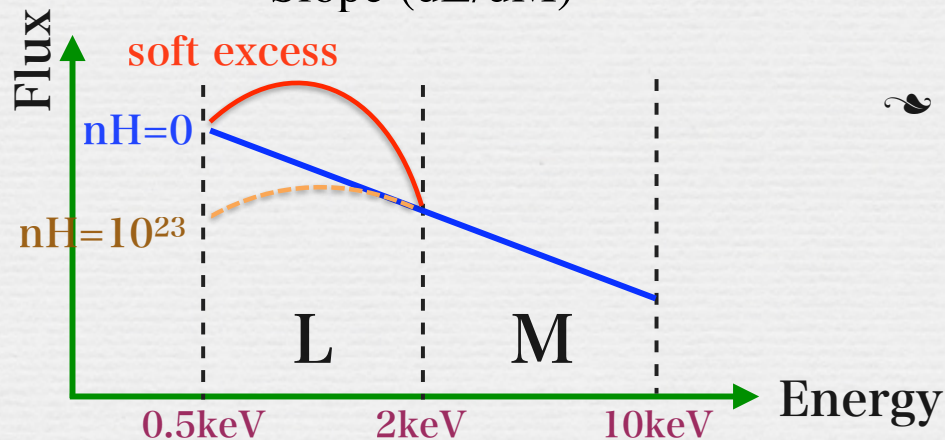
$nH=10^{21}\text{cm}^{-2}$ 10^{22}



10^{21}
 10^{20}

吸収量が変わったときの
べきとdL/dMの相関

- 同じべきでも吸収量が異なると
dL/dMが変化
- 吸収を含めたpower lawで説明
- 吸収量 0 でもsoft成分残る
(特にNLS1で顕著)
- soft excessが存在
- 今回の結果から従来のsoft
excessモデルを検証する



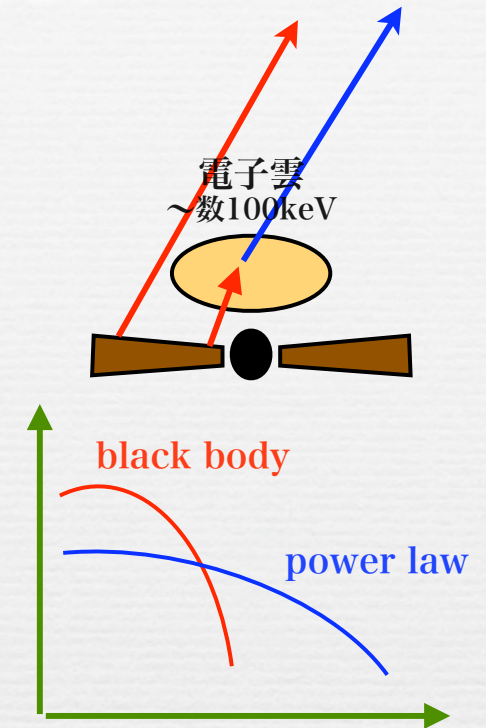
代表的な soft excess model

❧ 降着円盤モデル

- ❧ 降着円盤からの熱放射 (**black body**)
- ❧ ディスクからのsoft photonが電子雲内で逆コンプトン散乱
→ **power law**成分

❧ 今回の結果との比較

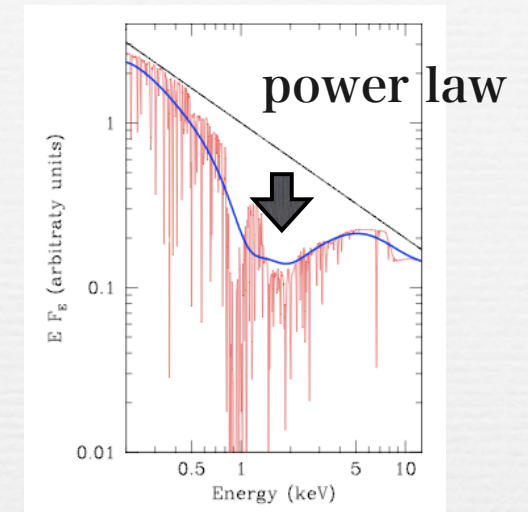
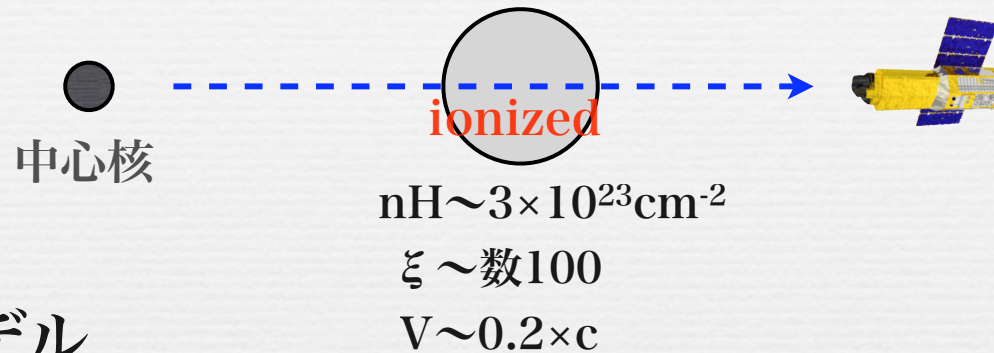
- ❧ 原点を通る直線、soft成分とpower law成分同時に変動
- ❧ soft photon増加(L)→power law成分増加(M)
- ❧ 円盤からの放射とpower lawを作るprocessに遅れがない
→円盤と電子雲がコンパクトな領域に存在



代表的な soft excess model

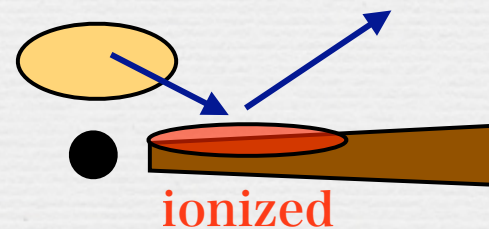
❧ 吸収モデル

- ❧ 高速運動する電離した吸収体による吸収



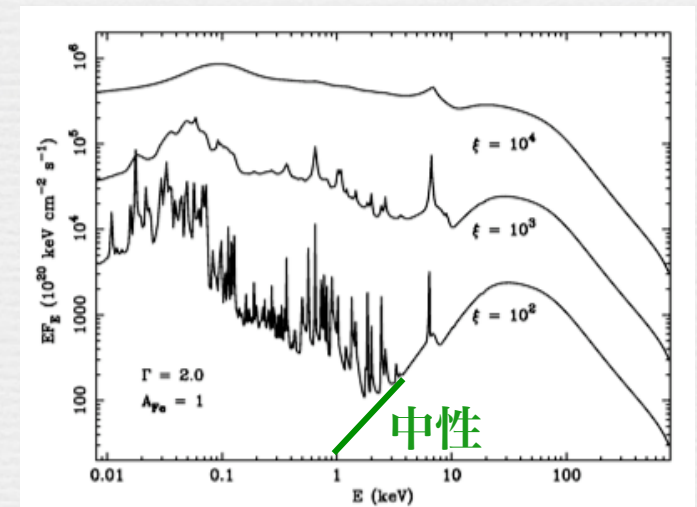
❧ 反射モデル

- ❧ 電離した降着円盤からの反射
- ❧ soft側とhard側にhumpを作る

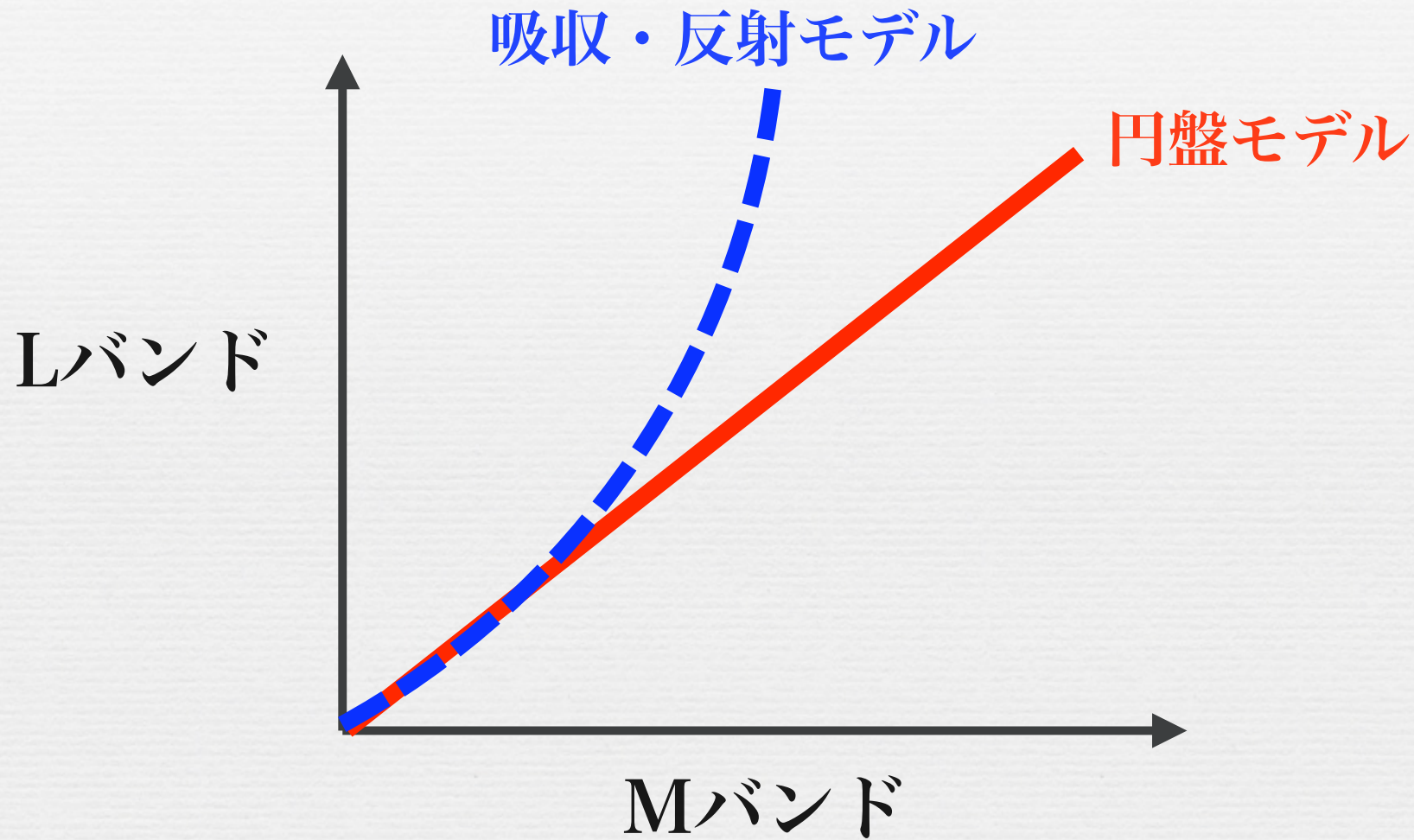


❧ 今回の結果との比較

- ❧ 中心核のFluxが変化→電離状態が変化→吸収構造の変化→スペクトルの形が変化→L-Mの相関で直線からのずれ



各モデルで予想されるL-M相関図

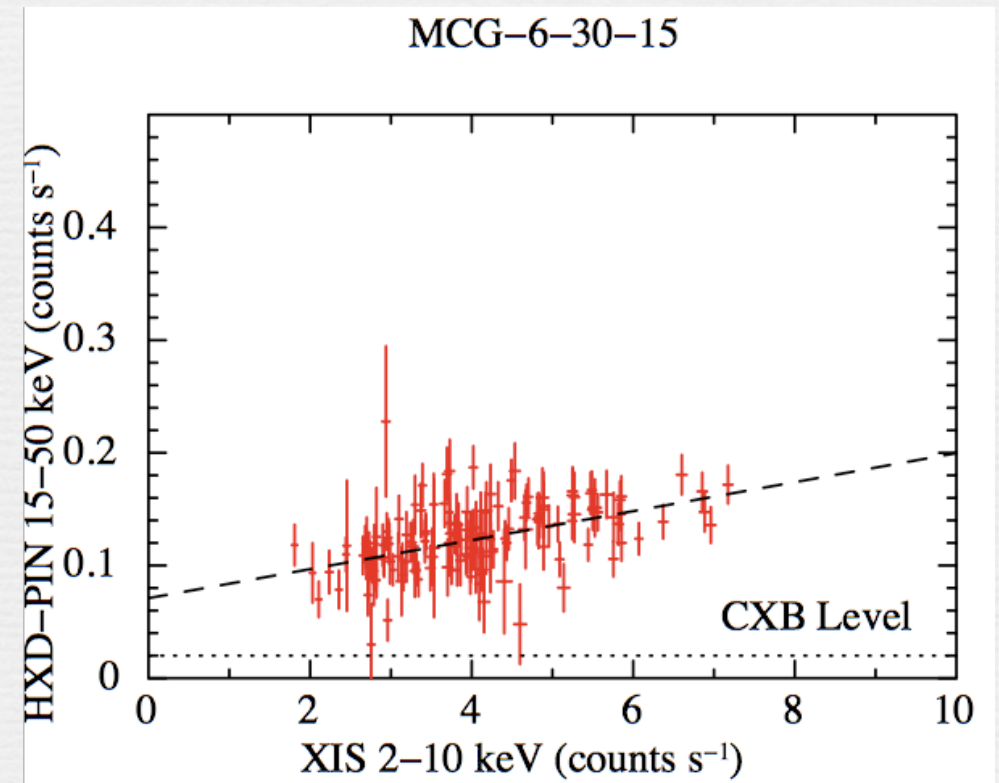
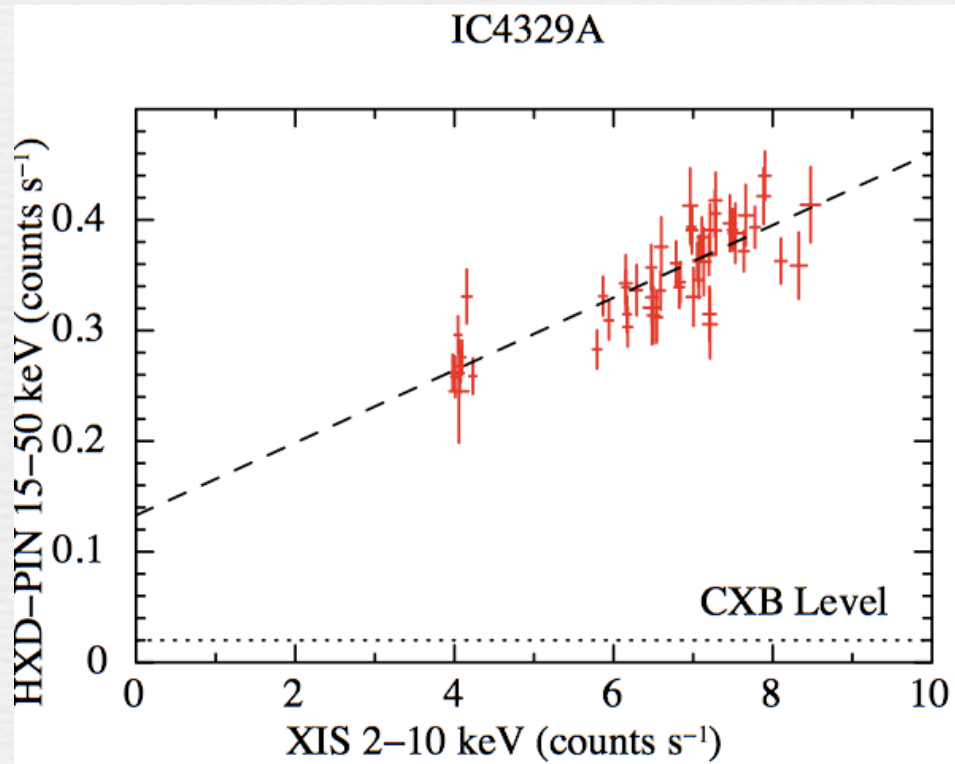


今回の結果は円盤モデルを支持

Hバンド-Mバンドの相関

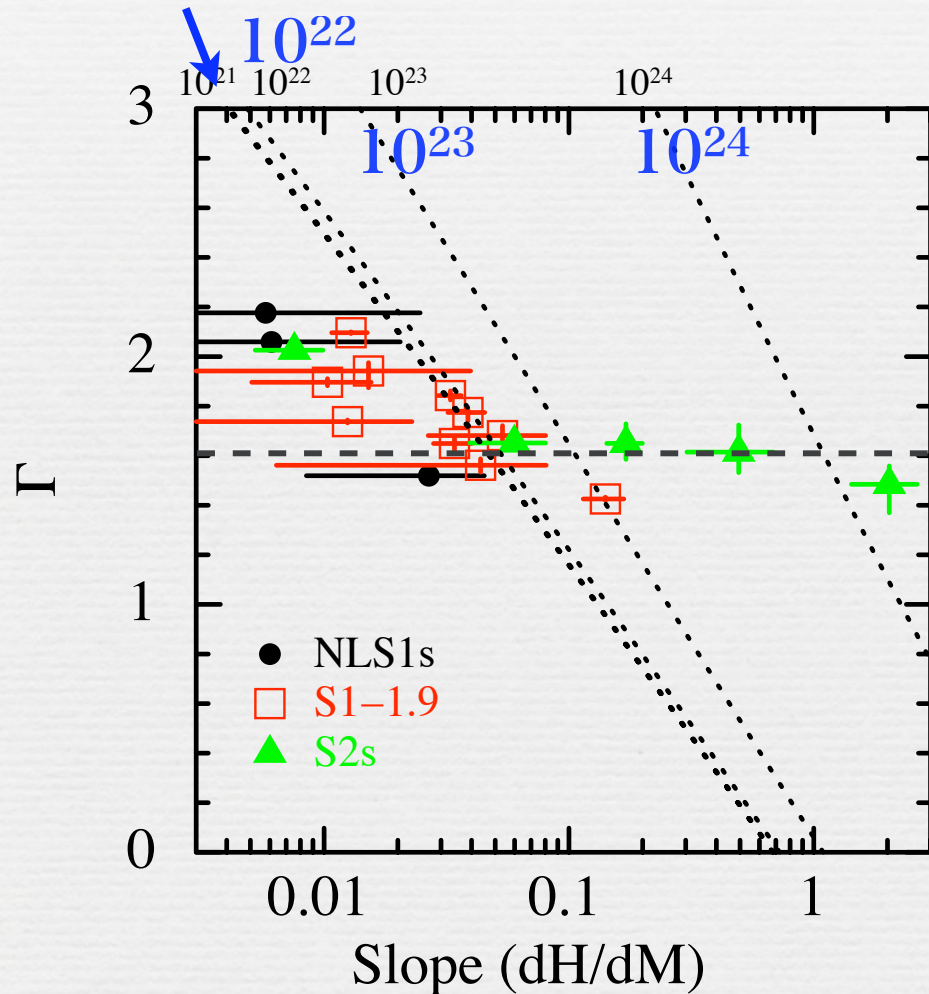
H-Mバンドでの相関

- ☞ 相関は直線関係
- ☞ 10天体で有意なオフセットを示す



べきとslopeの相関

$nH = 10^{21} \text{ cm}^{-2}$



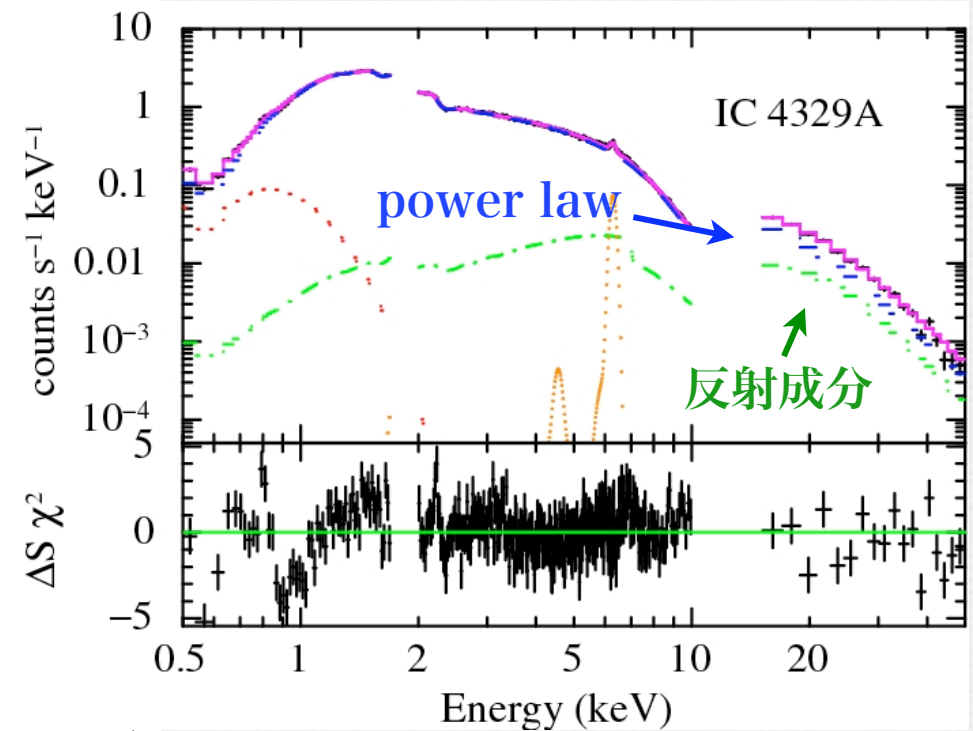
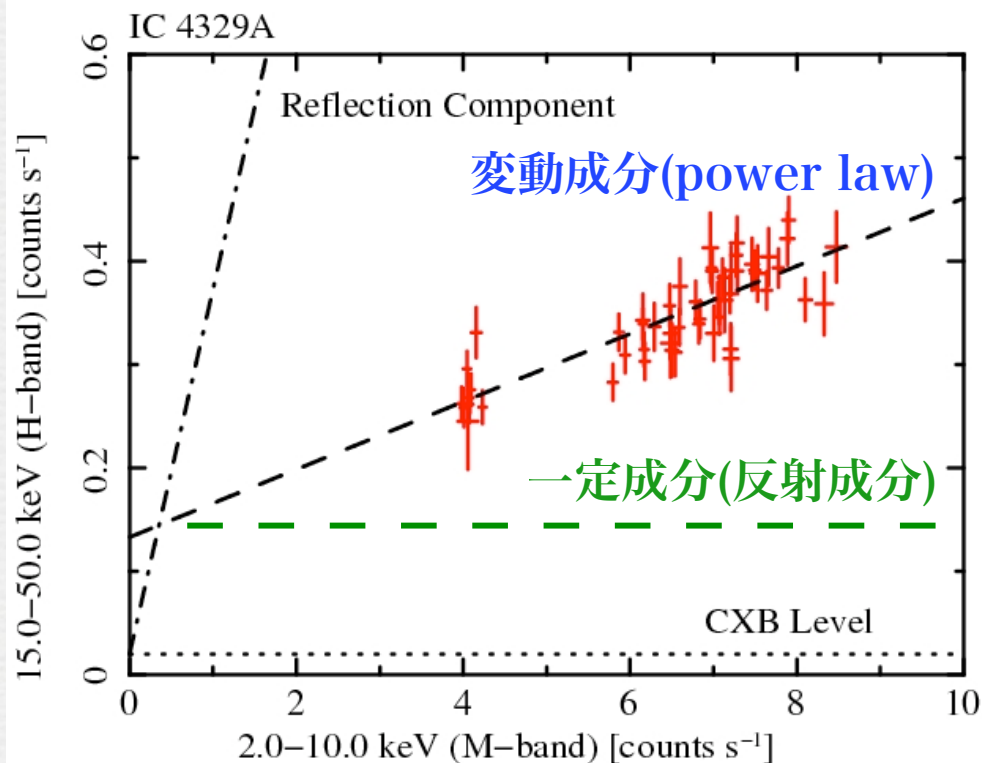
dH/dM - べきの相関

吸収を含めたpower lawで説明が可能

変動成分は吸収を受けたpower law

吸収を受けたpower lawが形を変えずに変化

- ❧ 変動成分を吸収を受けたpower lawと仮定すると傾きを説明できる
- ❧ offset→Mバンドが0でもHバンドに残る
- ❧ スペクトル→吸収を受けたpower lawと反射の強度比を比較
- ❧ 一定成分は反射成分と考えられる



まとめ

- すざくを用いて36個の活動銀河核の時間変動を調べた
- 15-50keVで早い時間変動(5ks)する4天体を検出
- 時間変動を用いてスペクトルの成分分離
 - 反射成分と吸収を受けた直接成分を分離
- 多成分の相関を取ることで輻射機構のモデルを限定
 - 円盤モデルを支持
 - 反射成分→day($\sim 10^5$ sec)での変動なし
→反射体は 10^{15} cm以遠 (トーラスなど)
 - soft成分・直接成分→5ksの分解能で見て遅れがない
→ 10^{14} cmより狭い範囲

今後の課題と展望

- ❧ 早いタイムスケールでの変動解析
 - ❧ より細かなスケールへ : $< 5\text{ks} (\sim 10^{14}\text{cm})$
- ❧ Hard側の観測はバックグラウンドでリミット
 - ❧ BGD低減→望遠鏡による撮像
 - ❧ 硬X線領域での撮像観測→ASTRO-Hへ