

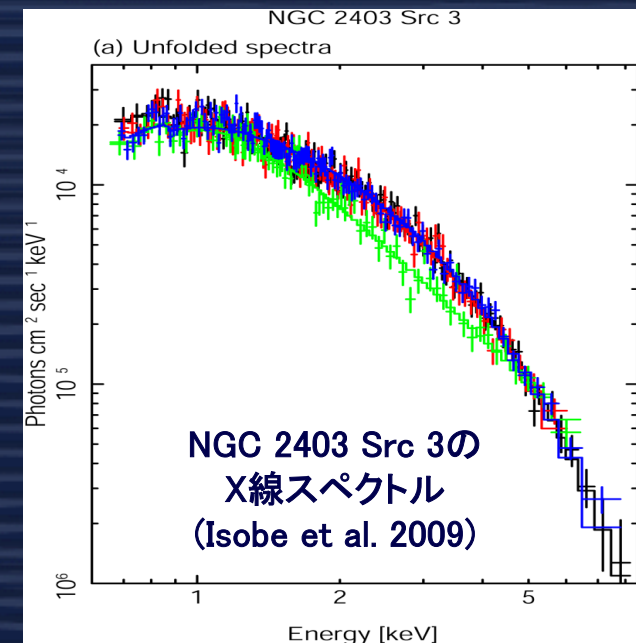
「すざく」による超光度X線源 NGC 1313 X1, X2の スペクトル変動の観測

磯部直樹(京都大学宇宙物理学教室)

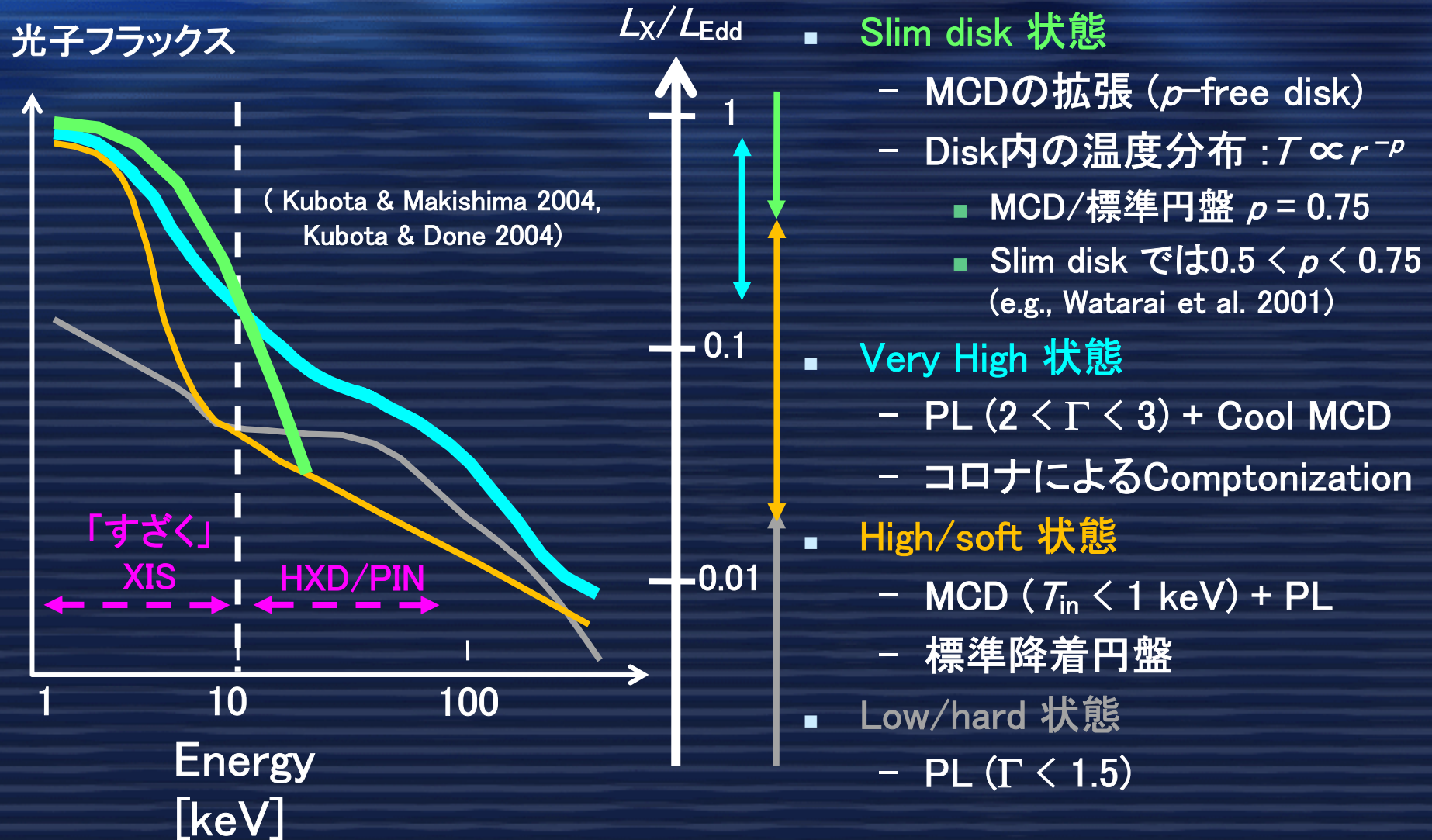
大須賀健(国立天文台), 水野恒史(広島大学),
久保田あや(芝浦工大), 牧島一夫, Poshak Gandhi (理化学研究所)

超光度X線源 (ULXs)

- X線光度 $L_X \gg 10^{39} \text{ ergs s}^{-1}$ の非常に明るいX線天体
 - 系内ブラックホール(BH; $\sim 10 M_\odot$)のEddington限界 L_{Edd} よりも明るい
- 多数の近傍銀河に存在 (e.g., Fabianno 1989)
- 「あすか」 (Makishima et al. 2000, Mizuno et al. 2001), *Chandra* (e.g., Swartz et al. 2004), *Newton* (e.g., Stobaart et al. 2006)による研究
 - 質量降着率の大きいBH
- その正体は？
 - L_{Edd} 程度で輝く**中質量BH** ($M \gg 10 M_\odot$)
 - **超臨界質量降着**の恒星質量BH ($M < 10 M_\odot$)
- ULXのX線スペクトル
 - PL型と多温度黒体輻射(MCD)型
 - PL型とMCD型を**遷移**するULX
(Kubota et al. 2001, Isobe et al. 2009)



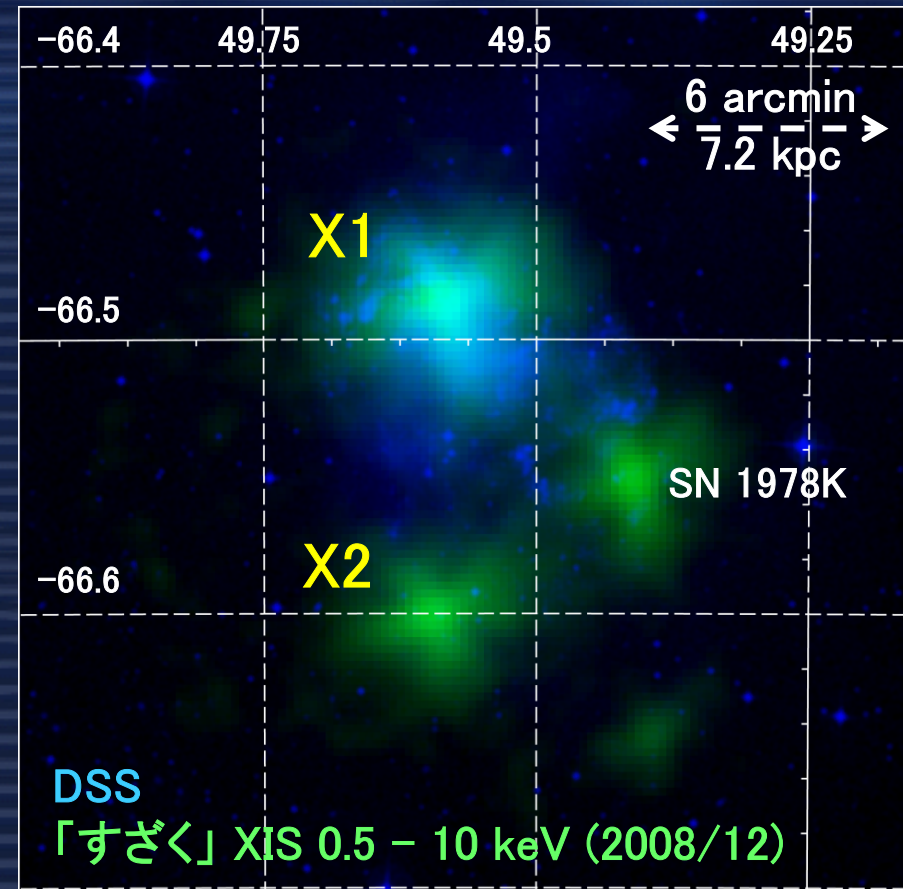
BH のX線スペクトル変動



NGC 1313 X1 and X2

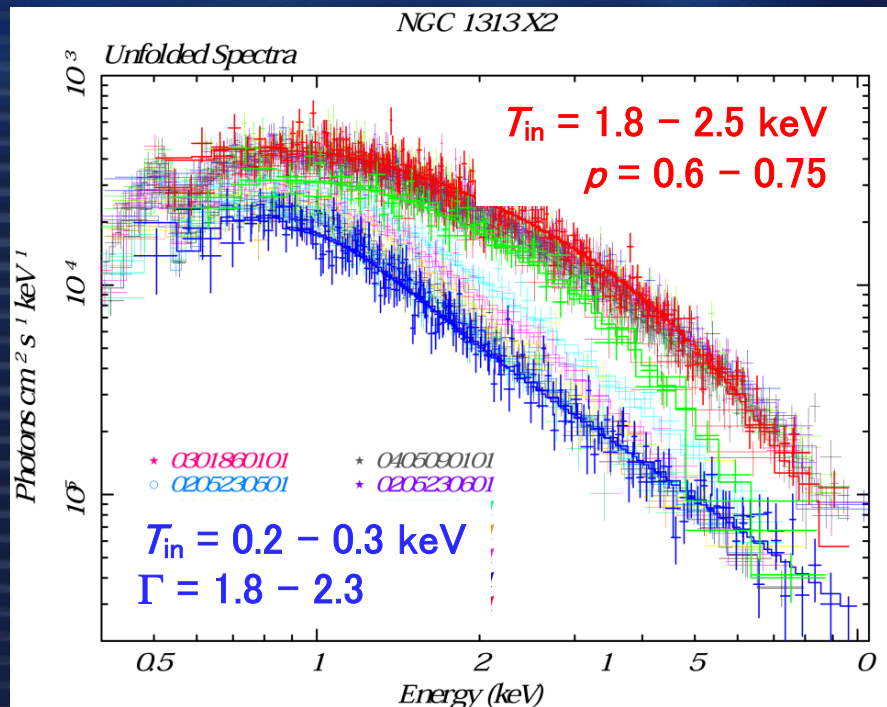
- NGC 1313
 - 渦巻銀河(SB)
 - 距離 4.13 Mpc
- 二つのULXs ; X1と X2
 - 「あすか」(Mizuno et al. 2001), *Chandra*, *Newton* (e.g, Feng & Kaaret 2005)で最もよく観測されたULXの一つ
- 2005年10月「すざく」による観測 (SWG ; Mizuno et al. 2007)
 - X1 : Slim Disk 状態
 - X2 : Very High 状態
- 2008年12月「すざく」で追観測(AO3)
 - スペクトル変動/遷移の探査

NGC 1313のX線/可視光画像



NGC 1313 X2 の状態遷移

「すざく」XISによるX線スペクトル



Newton によるスペクトルとの比較

■ SWG Bright Phase

: MCD の拡張(p - free)

- $T_{in} = 1.84 - 0.14 + 0.18$ keV
- $R_{in} = 75.2 - 17.8 + 21.2$ km
- $p = 0.64 \pm 0.4$

■ SWG Faint Phase : MCD

- $T_{in} = 1.19 - 0.05 + 0.07$ keV
- $R_{in} = 170.1 - 16.0 + 19.8$ km

■ AO3 : Cool MCD + PL

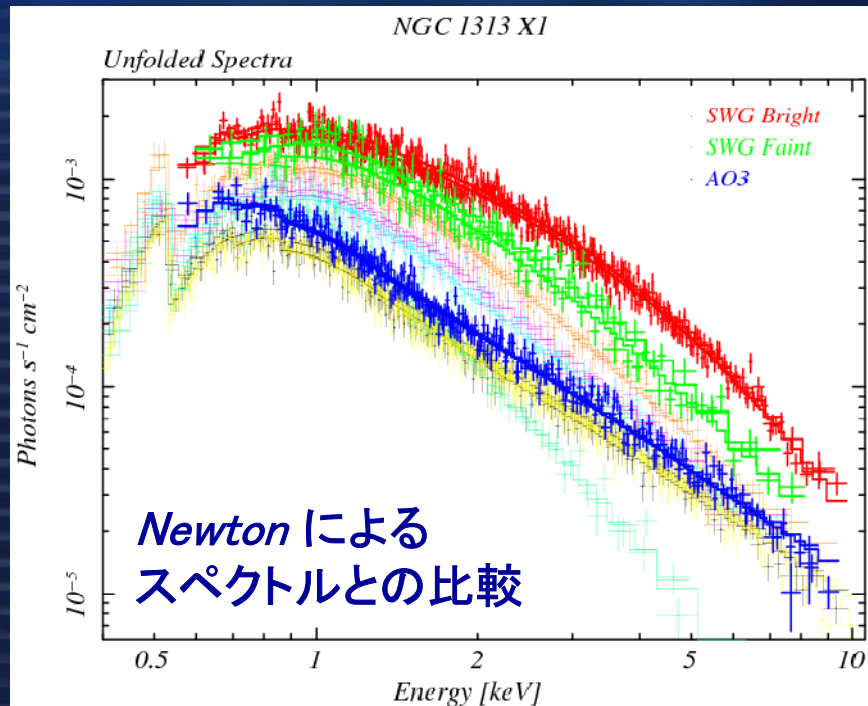
- $T_{in} = 0.27 - 0.08 + 0.11$ keV
- $R_{in} = (1.5 + 0.9 - 3.3) \times 10^3$ km
- 光子指数 $\Gamma = 1.8 \pm 0.2$

✓ Slim disk状態とVery High状態を頻繁に遷移

✓ 遷移光度 : $L_T = 4 \times 10^{39}$ ergs s⁻¹ (0.5 - 10 keV)

NGC 1313 X1のスペクトル変動

「すざく」XISによるX線スペクトル



✓複雑な変動パターン
✓Cool MCD + (cutoff)PLで、
多くのスペクトルは説明できる

■ SWG (Bright/Faint)

– MCDの拡張 (p-free)

- 明るい時の方が p が大きい
- Slim disk の予想に反する

– Cool MCD + cutoff PL

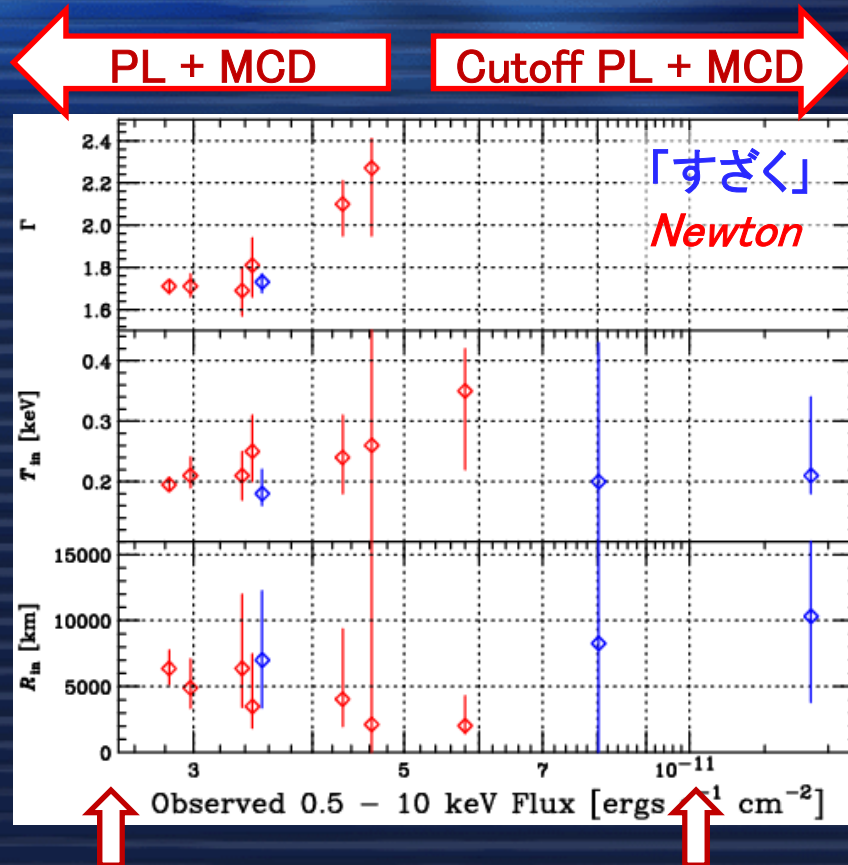
- $T_{in} = 0.19 -0.03 +0.05$ keV
- $R_{in} = (10.3 -6.5 + 9.7) \times 10^3$ km
- $\Gamma = 0.91 -0.18 +0.16$
- $E_{cut} = 3.4 \pm 0.5$ keV

(Mizuno et al. 2007)

■ AO3 : Cool MCD + PL

- $T_{in} = 0.18 -0.02 +0.04$ keV
- $R_{in} = (7.0 -3.6 + 5.3) \times 10^3$ km
- Index : $\Gamma = 1.73 -0.05 +0.04$

NGC 1313 X1のスペクトル変動



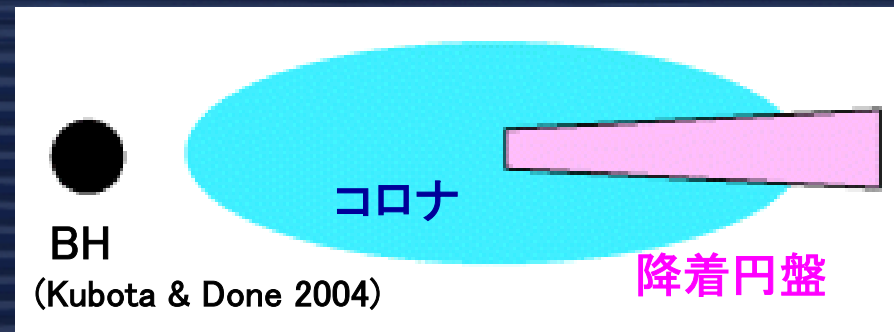
$0.5 \times 10^{40} \text{ ergs s}^{-1}$

$2 \times 10^{40} \text{ ergs s}^{-1}$

コロナ : (cutoff) PL 成分

✓明るくなるとソフト

- 電子温度 T_e が減少
- Optical Depth τ が増加



降着円盤 : MCD成分

✓比較的安定

✓BHから遠いところ($\sim 5000 \text{ km}$)
で途切れている

X1は常にVery High 状態
コロナの状態変化で、スペクトルが変動

質量の推定

- 系内BHの場合 (e.g., Kubota & Makishima 2004, Abe et al. 2005)
 - Slim disk 状態とVery High状態の遷移は、 $\eta = L_T/L_{\text{Edd}} = 0.2 - 1$
 - NGC 1313 X2 の場合
 - $L_T = 4 \times 10^{39} \text{ ergs s}^{-1}$
 - $M_{X2} \sim 30 \eta^{-1} M_{\odot}$
 - $R_{\text{in}} = 75.2 \text{ km}$ (Suzaku SWG **Bright**) $\sim \eta R_s$
 - NGC 1313 X1 の場合
 - 状態遷移は確認できていない (Very High状態)
 - $L_T > 2 \times 10^{40} \text{ ergs s}^{-1}$
 - $M_{X1} > 150 \eta^{-1} M_{\odot}$
 - $R_{\text{in}} = 5000 - 10000 \text{ km} = (11 - 23) R_s$
- cf. Comptonization のEnegetics から $M_{X1} \sim 200 M_{\odot}$ (Dewangan et al. 2009)

ULXの質量が系内BHより重いことを示唆