

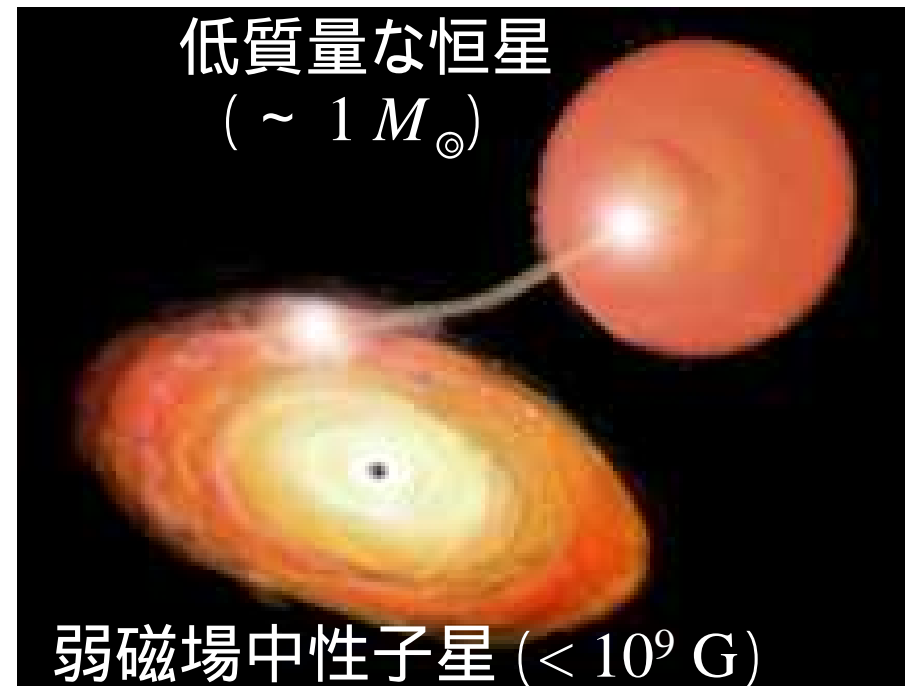


「すざく」衛星で観測した LMC X-2 の エディントン光度付近での振る舞い

NS (X線) 連星系

LMC X-2 :

- 大マゼラン雲 (~50 kpc) に存在する
低質量 X 線連星系 (LMXB)。
銀河中心の天体に比べ、
星間吸収が小さく、
低エネルギー側が観測できる。



高橋弘充、白井裕久、永江 修、
深沢泰司 (広島大)、牧島一夫 (東京大、理研)

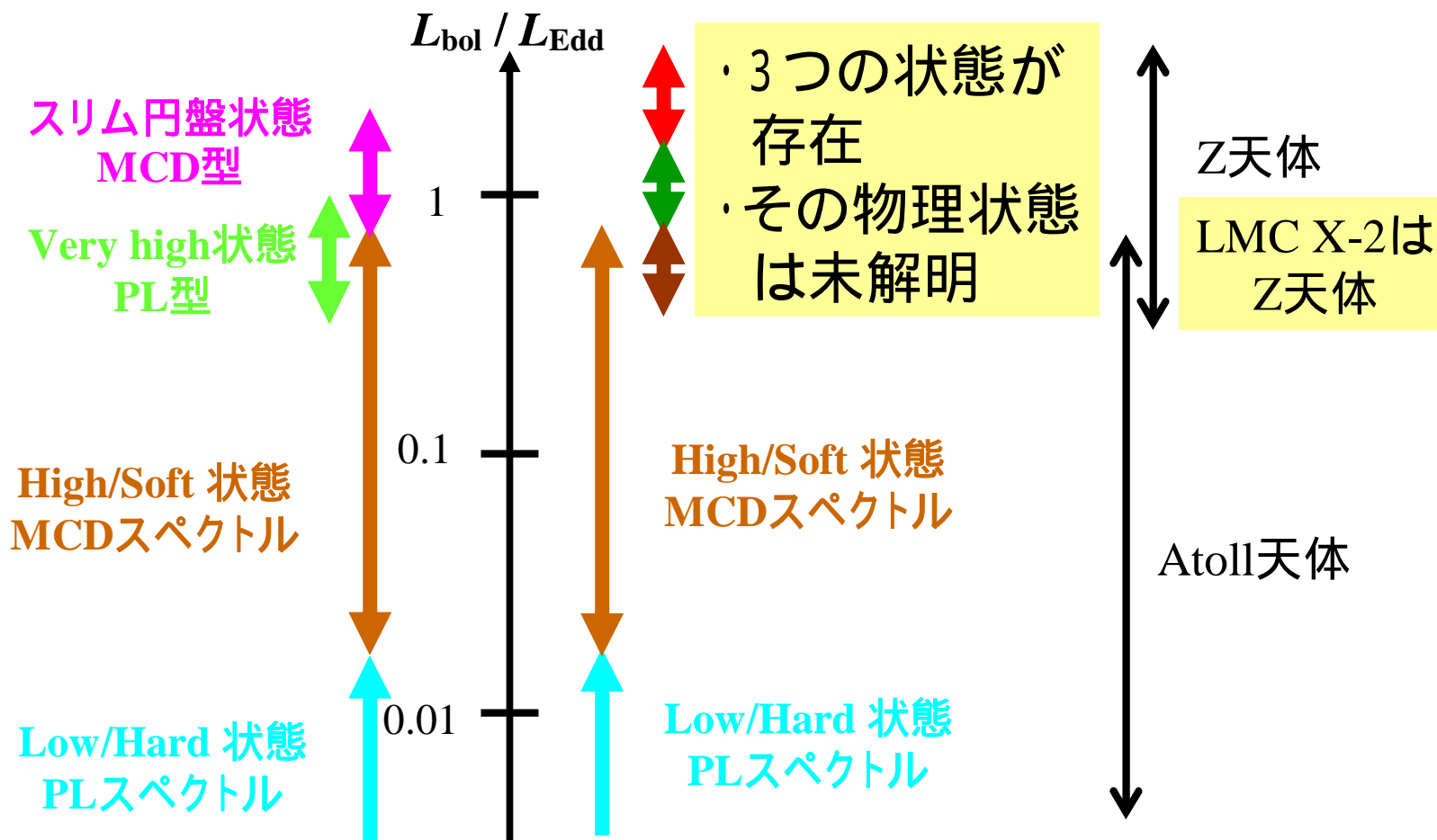
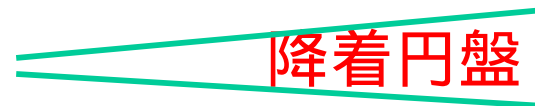
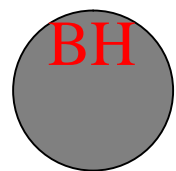
NS連星系 と BH連星系 (1)



- NS連星系のデータから、BH連星系とは相補的に、質量降着流の物理を研究

- どちらも、解放された莫大な重力エネルギーにより、X線で明るく輝く。
- 唯一の違いは、NSの固い表面に対し、ブラックホールは事象の地平線。
NS連星系では、物質は全エネルギーを解放してから、NS表面に降着。
 - ・NS表面からの放射を考える必要があって、複雑。
 - ・全エネルギーの収支を調べることができる。
- NS 連星系は、銀河系内に ~200天体 (BH連星系~20天体)もある。
 - ・多様な物理状態の観測チャンスに恵まれている。

NS連星系とBH連星系(2)



(次の永江講演: Low/Hard 状態)

Z天体の3つの物理状態

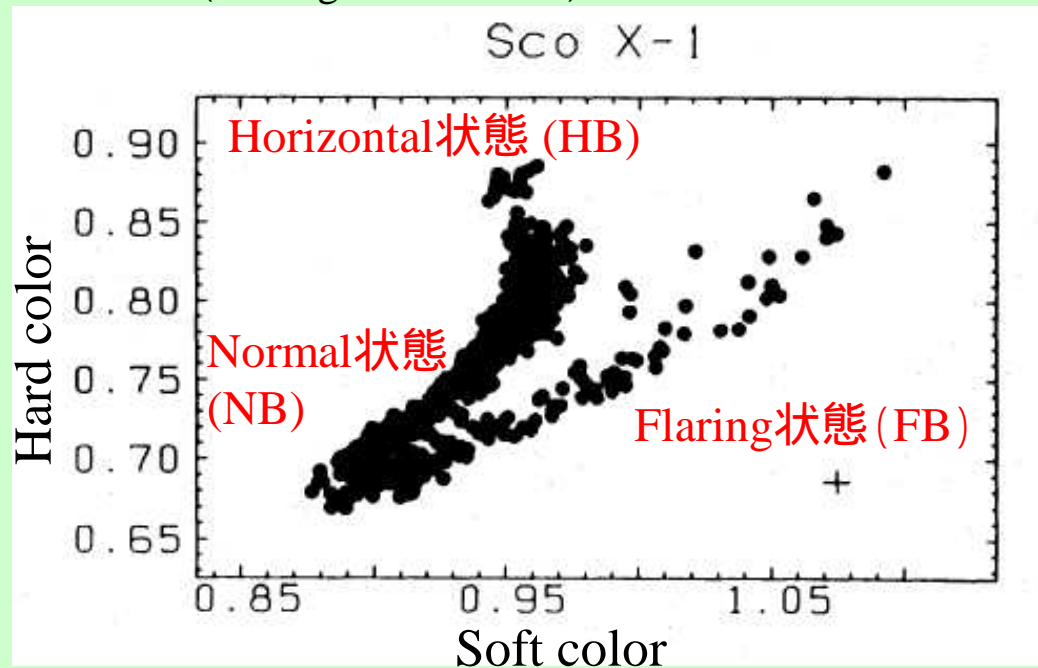
- X線光度 $\sim 10^{38}$ erg/s \sim エディントン限界

- 銀河系内に8天体

(Sco X-1, Cyg X-2, GX 17+2, GX 349+2, GX 5-1, GX 340-0, Cir X-1, XTE J1701-462)
系外では1天体のみ(LMC X-2)

・ color-color 図 (CCD)


(Hasinger et al. 1989)



カラー: カウントレートの比

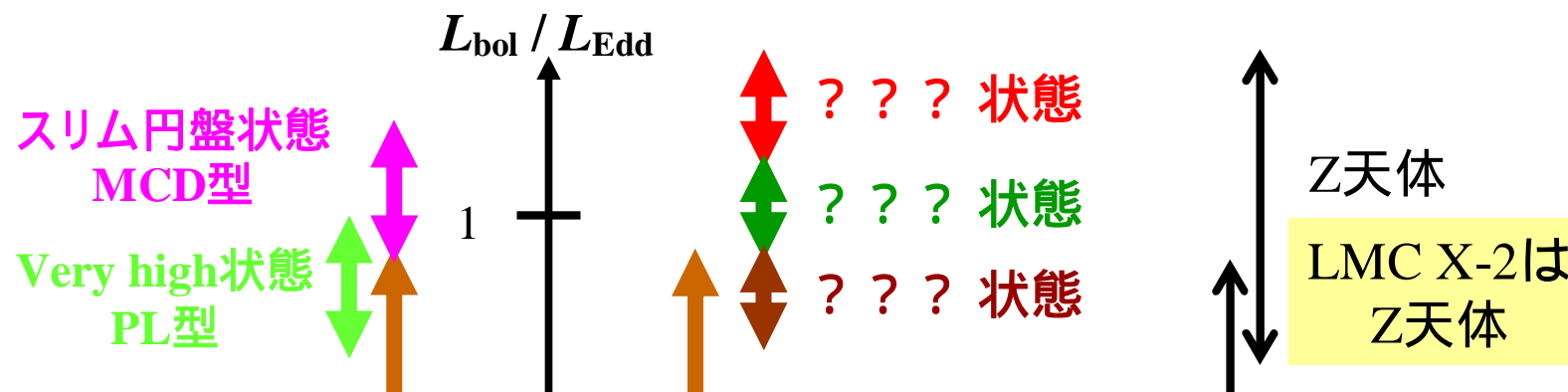
Hard color = (高帯域)/(中帯域)

Soft color = (中帯域)/(低帯域)

数時間のスケールで
「Z」(もしくは「)の形に
そって状態遷移: Z天体

「質量降着率がどの向きに増加するのか」がまだ分かっていない
3 keV 以上の観測では、NB でもっともカウントレートが低くなる

NS連星系 と BH連星系 (2)



- Z天体の3つの状態の物理的な解明
 - ・質量降着率はどのように増加？
 - ・降着円盤は、スリム円盤になっているのか？
- アウトフローが生じているのか？
- そもそもZが暗くなると、Atollになるのか？

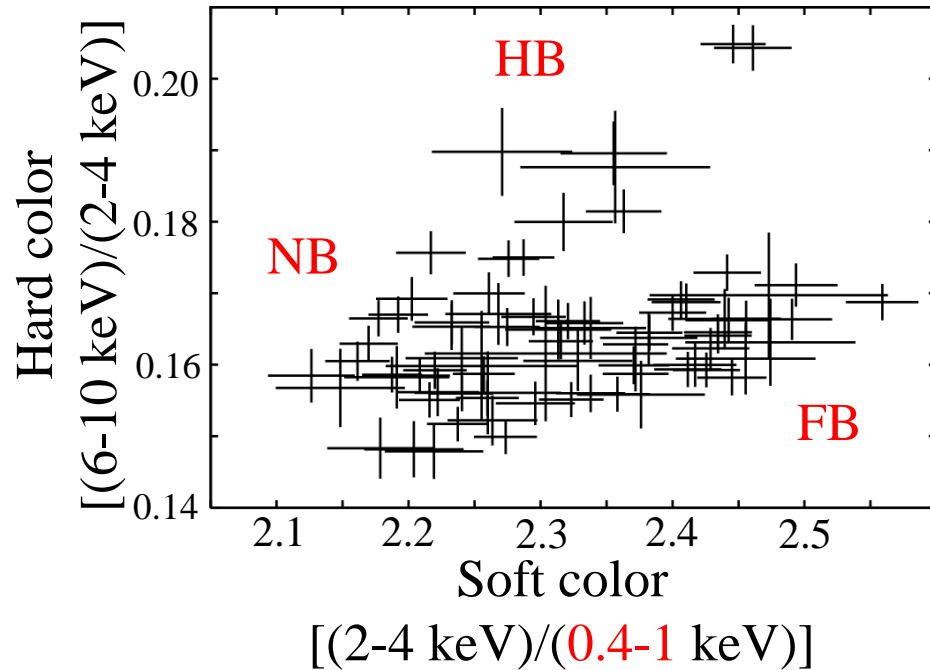
(05春 H68a, 05秋 H09a, 07春 J50c)

LMC X-2 は系外天体なので、星間吸収が弱く、3 keV 以下を検出できる。低~高エネルギーまでを観測できる「すざく」の性能を最大限に利用。

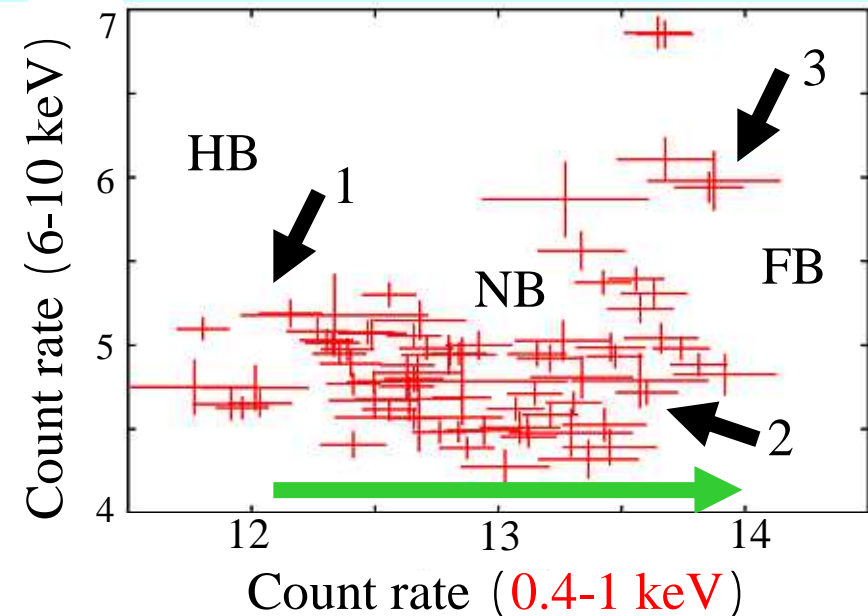
「すざく」による LMC X-2 の観測 (1)

観測 : 2006/4/24 (Exposure: 55 ks)、データ : rev 2.0

CCD (each 1024 s)



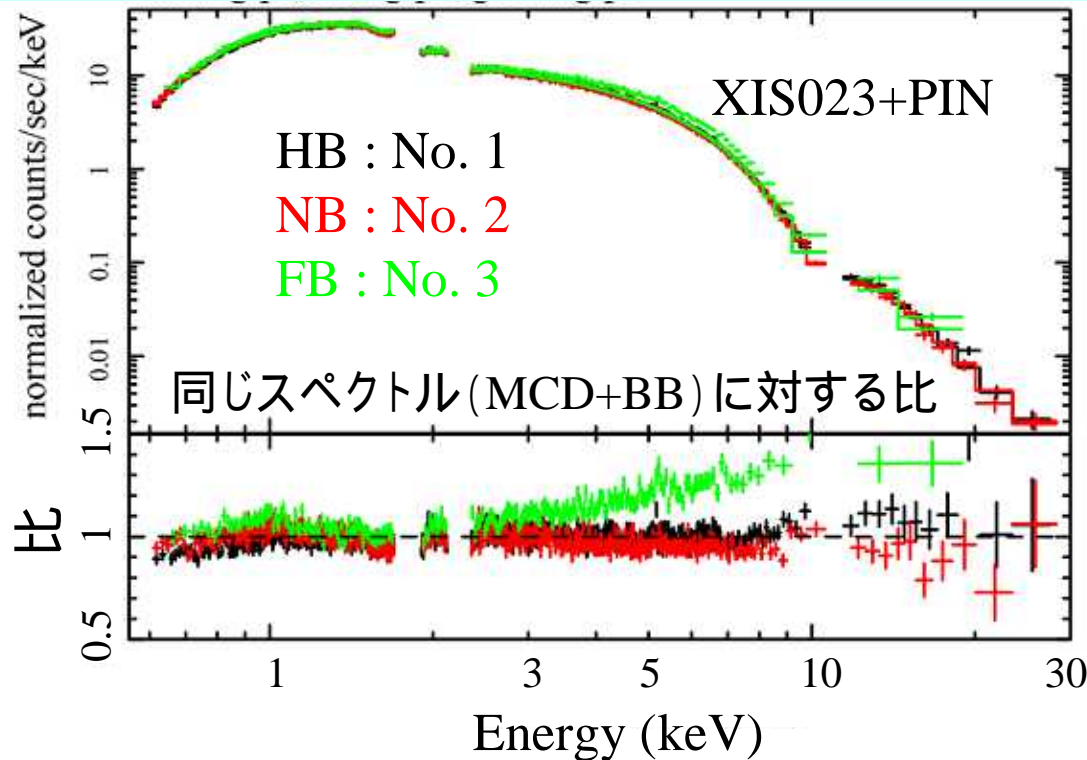
Intensity-Intensity図 (each 1024 s)



- 3 状態すべてを観測できた。
- 高エネルギー側 (6-10 keV) では、カウントレートが NB でいったん減少 (これまでの結果と一致)。
- 1 keV 以下の低エネルギー側では、カウントレートが HB NB FB と連続的に増加。

各状態のスペクトル形の比較

同じモデル(MCD+BB)に対する比 (each ~ ks)



スペクトルからも、同じ傾向

- 3 keV 以上:

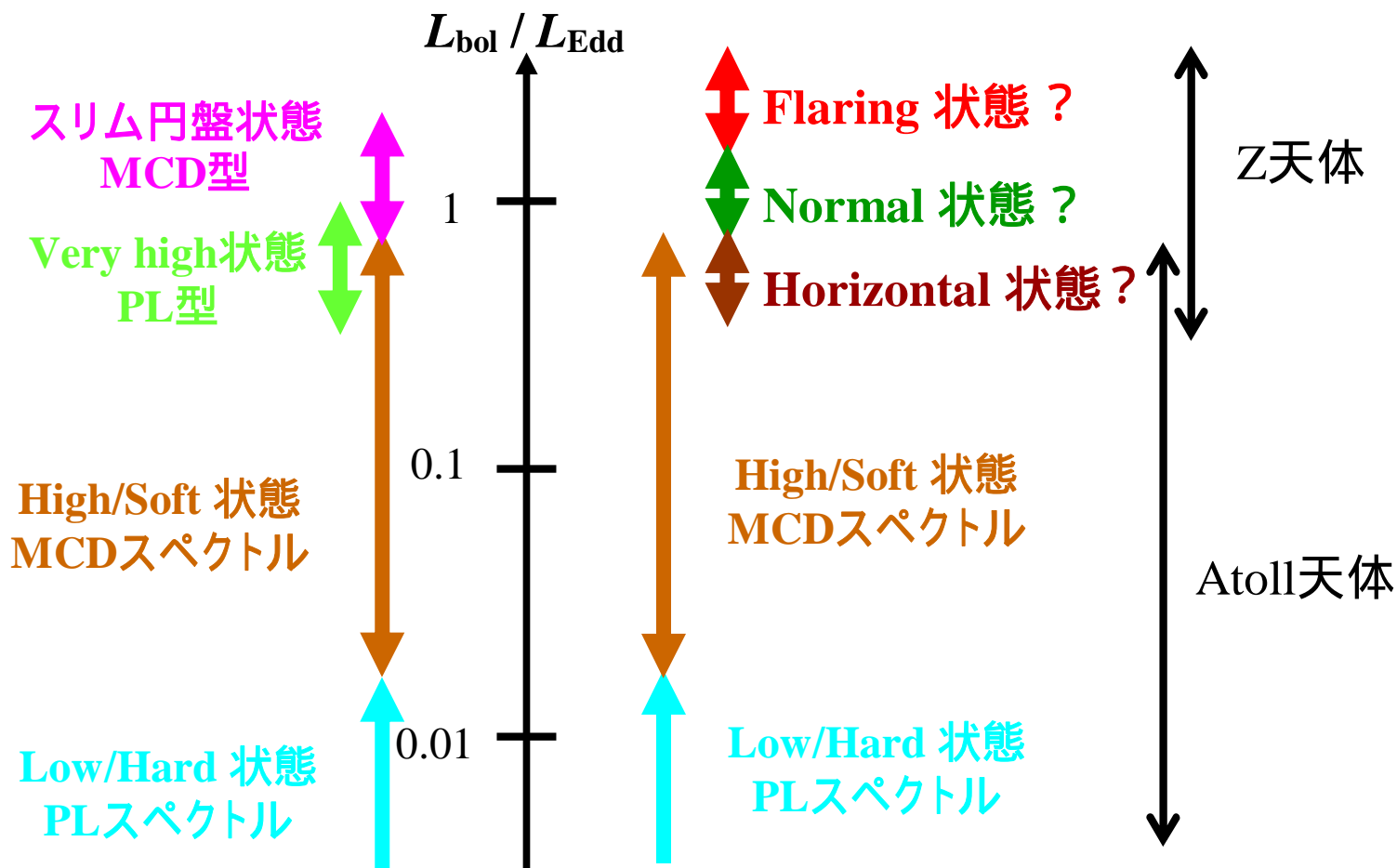
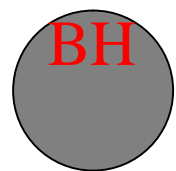
フラックスが NB で減少

- 1 keV 以下:

HB NB FB と連続増加

- 1 keV 以下で卓越している成分(ディスクからの放射)が存在。
- 質量降着率が HB NB FB と連続的に増加することを示唆。
- 3 keV 以上のフラックスが NB で減少するのは、アウトフローにより物質が降着していないから、と考えられる。(他天体でこれまでに得た描像)

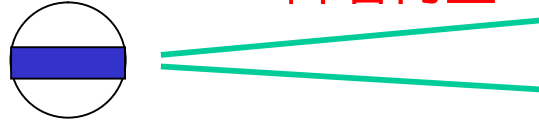
NS連星系とBH連星系(2)



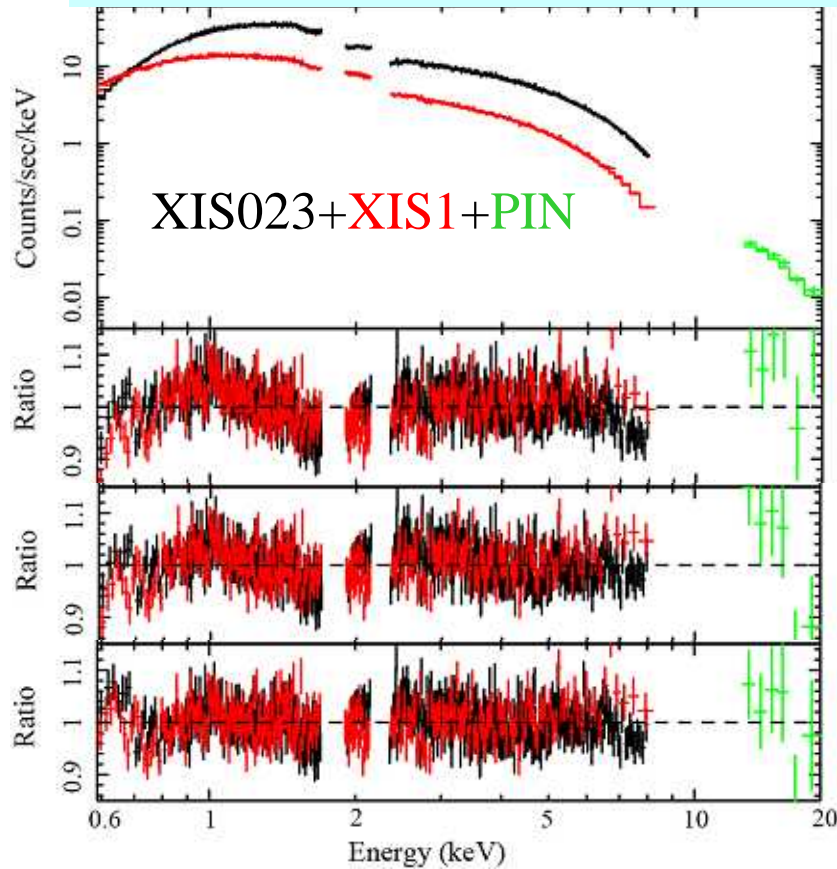
(次の永江講演: Low/Hard 状態)

スリム円盤の検証

NS表面 降着円盤



NB (No.2) のスペクトル解析



- 標準円盤 (MCD)

温度の半径依存性: $T \propto r^{-0.75}$

- スリム円盤 (渡会 et al. 2000 など)

エディントン限界付近になると移流が優勢となり、温度勾配が緩やかになる

$T \propto r^{-p}$ (p-free disk)、 $0.5 < p < 0.75$

ディスクからの放射

NS表面からの放射: BB ($kT \sim 2.2$ keV)

	χ^2/dof	T_{in} (keV)	r_{in} (km)
MCD+BB	1.76	1.2	15
(p-free disk)+BB	1.55	1.8	7
MCD+BB+BB	1.31	1.4	13

星間吸収が銀河系の吸収よりも小さくなってしまふ

明らかに0.75 より小さい値 ($p=0.65 \pm 0.01$)

($T_{\text{BB}} \sim 0.2$ keV, $r_{\text{BB}} \sim 18$ km)

- 2 keV 以下に、標準円盤モデルよりも有意な盛り上がりを見出し!!!
- この盛り上がりは、p-free disk よりも、BBでさらによく再現される。

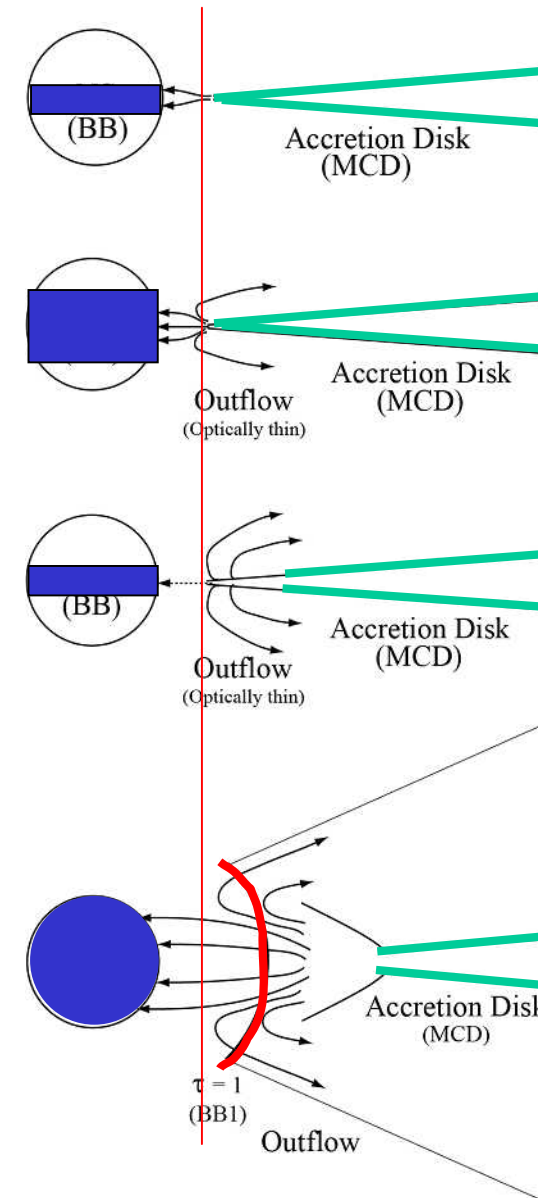
まとめ

- 「すざく」で星間吸収の弱いZ天体 LMC X-2 の観測を行い、0.4–40 keV の幅広い帯域から天体信号を検出することができた。
- HB、NB、FBの3状態すべてを観測できていた。
 - ・3 keV 以上では、従来どおりに NB でフラックスが減少していた。
 - ・3 keV 以下では、HB NB FB と連続的に増加することを発見した。この結果は、質量降着率が HB NB FB の方向に増加していることを示唆する。
- スペクトル解析の結果、標準モデル(MCD+BB)に加え、2 keV 以下に有意な盛り上がりを検出した。この構造は、スリム円盤モデルよりも、黒体放射 ($kT \sim 0.2$ keV) でさらによく再現された。

統一的な描像

質量降着率 [\dot{M}/\dot{M}_E]

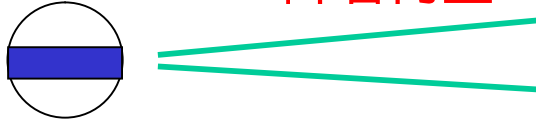
分類	降着円盤	NS表面	アウトフロー
UB	標準	細い帯	ほとんどなし (< 1)
HB	標準	太い帯	NS手前から
NB	標準?	細い帯	円盤から (~ 1)
FB	内側が膨れる	球対称	円盤から (> 1) (NS表面を隠す)



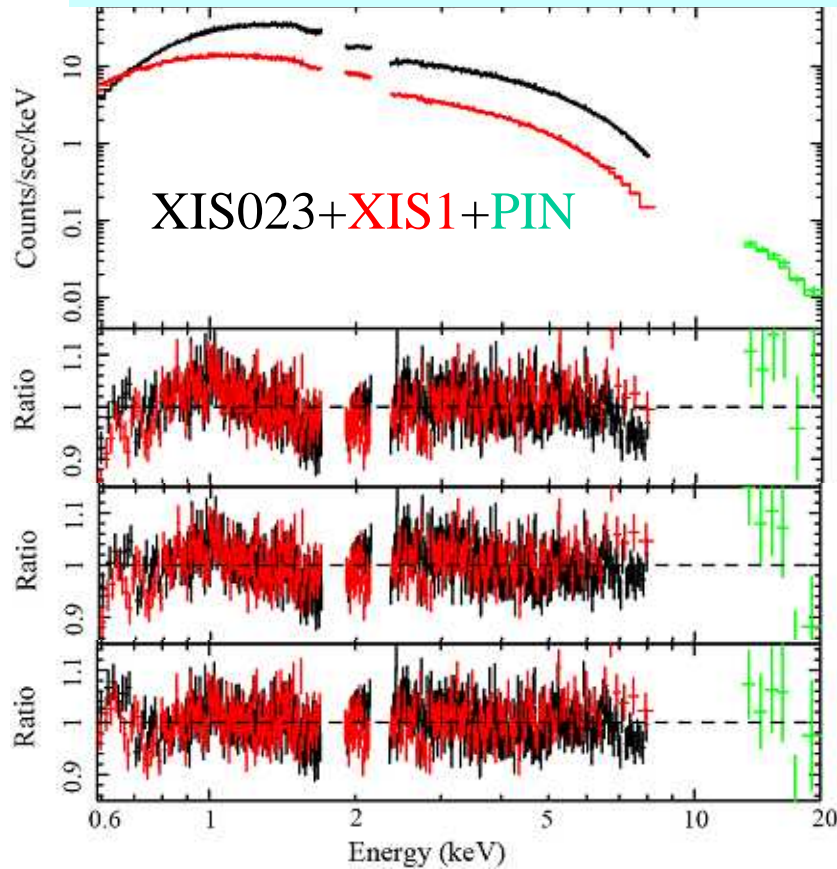
「質量降着率」と「天体の観測方向」の
2パラメータだけで
LMXBの物理状態が説明できる

スリム円盤の検証

NS表面 降着円盤



NB (No.2) のスペクトル解析



- 標準円盤 (MCD)

温度の半径依存性: $T \propto r^{-0.75}$

- スリム円盤 (渡会 et al. 2000):

エディントン限界付近になると移流が優勢となり、温度勾配が緩やかになる

$T \propto r^{-p}$ (p-free disk), $0.5 < p < 0.75$

ディスクからの放射

NS表面からの放射: BB ($kT \sim 2.2$ keV)

	χ^2/dof	T_{in} (keV)	r_{in} (km)
MCD+BB	1.76	1.2	15
(p-free disk)+BB	1.55	1.8	7
MCD+BB+BB	1.31	1.4	13

星間吸収が銀河系の吸収よりも小さくなってしまう

明らかに0.75より小さい値 ($p=0.65 \pm 0.01$)

($T_{\text{BB}} \sim 0.2$ keV, $r_{\text{BB}} \sim \text{km}$)

- 2 keV 以下に、標準円盤モデルよりも有意な盛り上がりを見出し!!!
- この盛り上がりは、p-free disk よりも、BBでさらによく再現される。