

# 「すぎく」の成果とASTRO-Hへの展望

牧島一夫<sup>1,2,3</sup>

1:東大 理学系ビッグバン宇宙国際研究センター

2:同上 物理学専攻

3:理化学研究所 宇宙観測実験連携研究G

2007 「すぎく」の成果概観

2008 銀河団の七不思議

2009 マグネターの謎

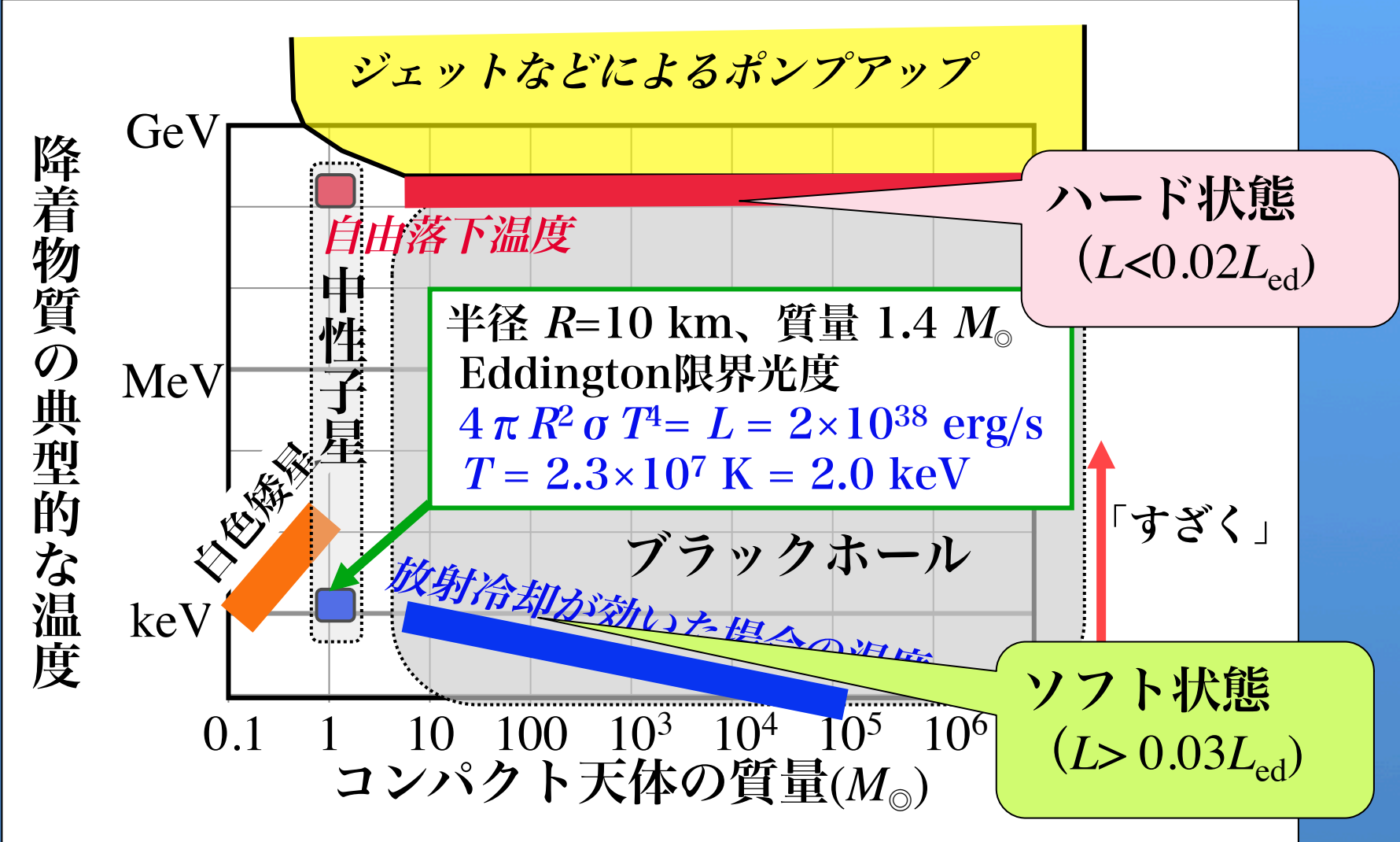
2010 ブラックホール (BH)



# ブラックホール (BH)

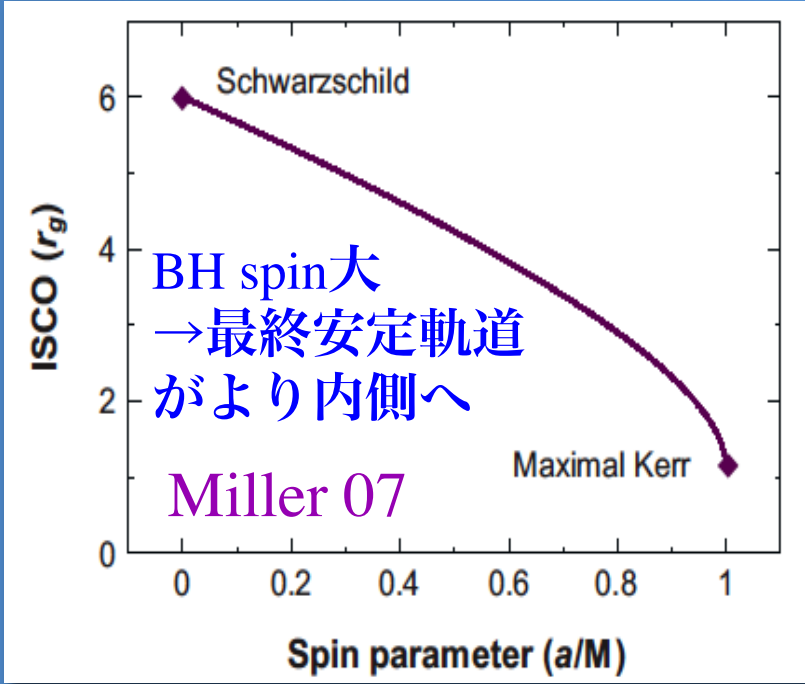
- 一般相対論の重要な予言の一つ。
- II型超新星など、大質量星の進化の最終段階に密接に関連。
- 高効率で静止エネルギーを転換。ガンマ線バースト、宇宙ジェット、宇宙線加速など、高エネルギー現象の舞台。
- 銀河中心の巨大BHの起源や、親銀河との「共進化」は、未解決の謎。天体形成史の鍵を握るか？
- BHからのエネルギー解放は、銀河や銀河団の進化にフィードバックを及ぼす。宇宙の最電離に寄与？
- X線観測→BHの存在検証、質量の測定、スピンの推定、降着流の物理の解明、一般相対論効果の探査, …

# コンパクト天体への質量降着



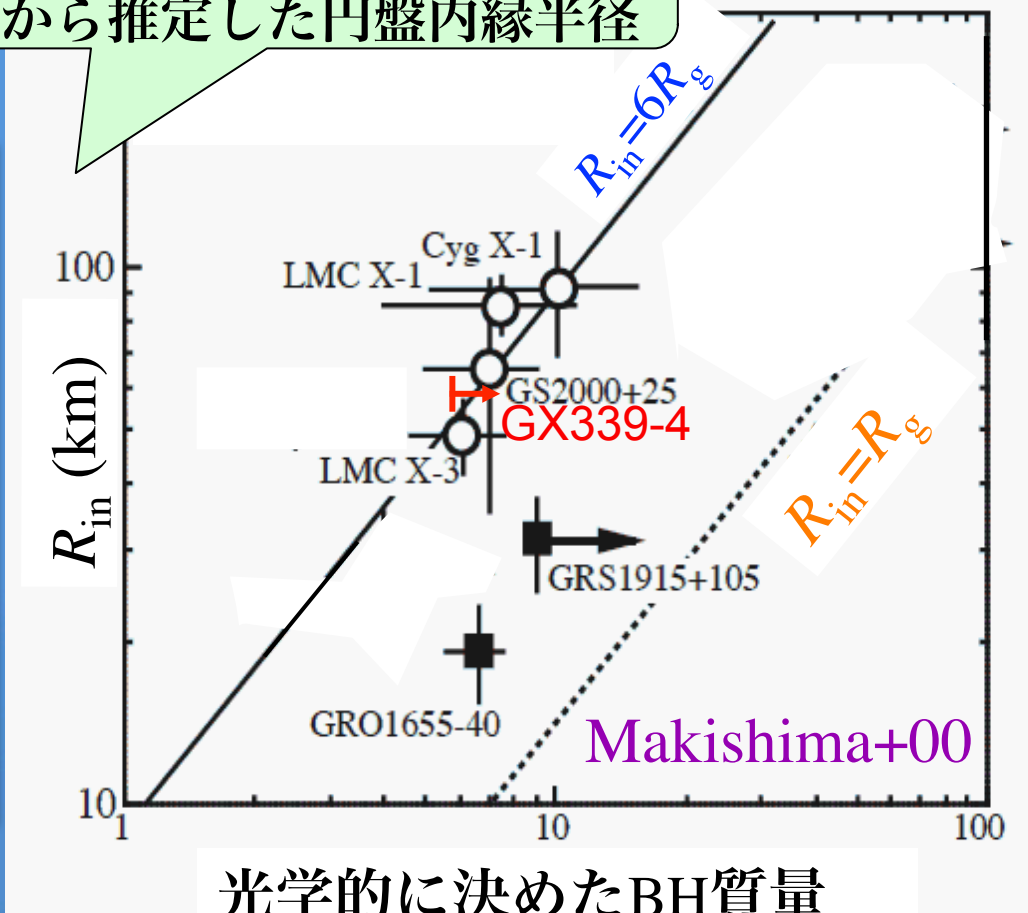
# ソフト状態の円盤と最終安定軌道

BHの赤道面を順回転する質点の最終安定軌道の半径。重力半径  $R_g \equiv GM/c^2$  で規格化。



ソフト状態の標準降着円盤も、この半径で終ると予想される。

X線分光測光の結果と距離から推定した円盤内縁半径

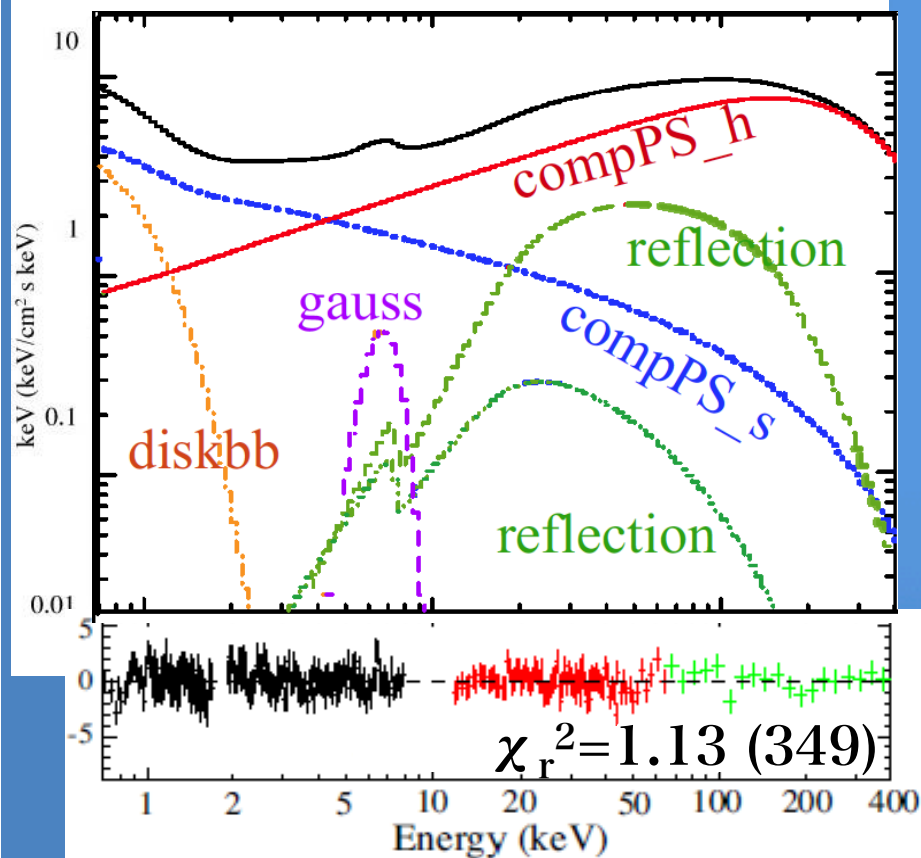


光学的に決めたBH質量

マイクロクエーサー GRS1915や GRO1655は、Kerr BHなのでは？

# ハード状態のBH Cyg X-1

「すぎく」のFのスペクトル



- コロナは2つの熱的コンプトン光学厚み ( $\tau = 1.5/0.4$ ) をもつ。
- $T_e \sim 100$  keV; コロナの電子はイオンにCoulomb加熱され、光子にCompton冷却される。
- **じかに見える円盤放射**  
 $T_{in} \sim 0.2$  keV,  $R_{in} \sim 250$  km  
 コロナには「穴」があるらしい
- **少し広がった鉄輝線**。円盤で発生し弱い相対論効果を受ける。
- **反射体の立体角**  $\Omega/2\pi \sim 0.4$   
**(Makishima +08)**

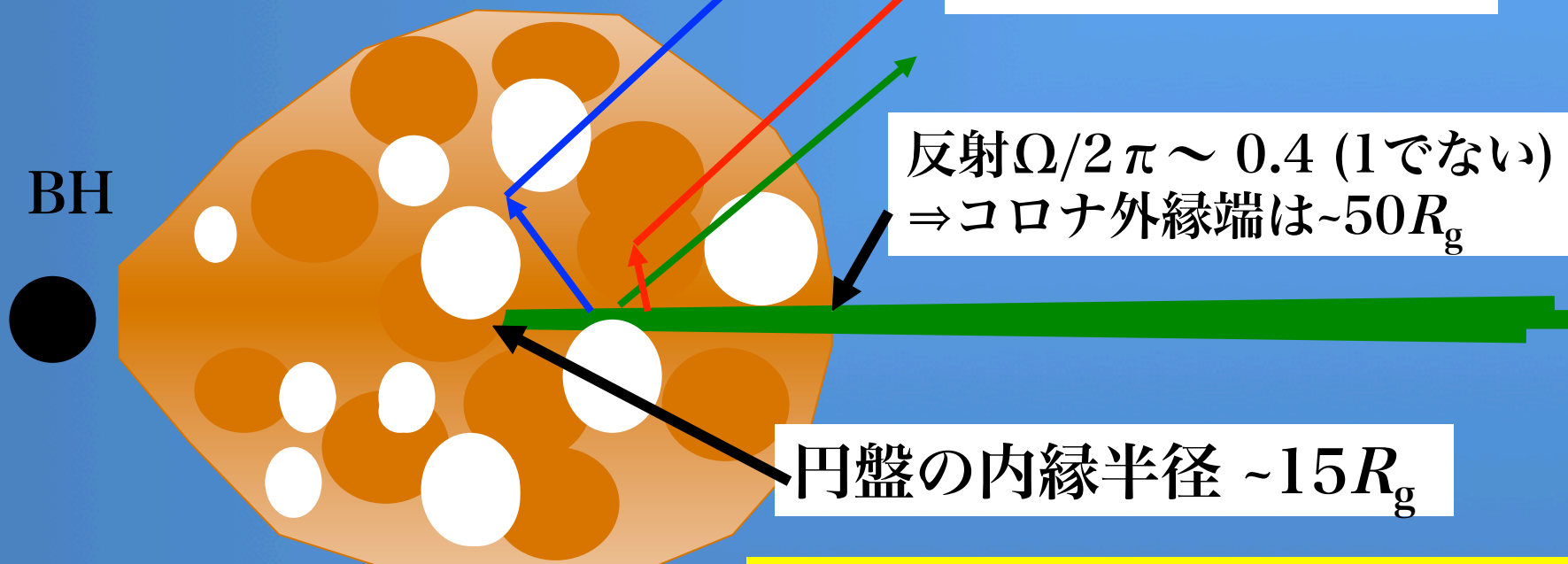
- 円盤は、内縁半径  $(R_{seed}^2 + R_{in}^2)^{1/2} \sim 15R_g$  で終わる。
- 鉄輝線はさほど広がっておらず、 $R_{in} > 6R_g$  の無回転BHでよい。



# 得られた「円盤-コロナ」描像

降着面を見込む角の大きな系に  
比べ、円盤起源の成分が顕著  
⇒円盤は薄くコロナは分厚い

コロナは非一様；  
 $\tau = 0$ ,  $\tau \sim 0.4$ ,  
 $\tau \sim 1.5$  が必要



反射  $\Omega/2\pi \sim 0.4$  (1でない)  
⇒コロナ外縁端は  $\sim 50R_g$

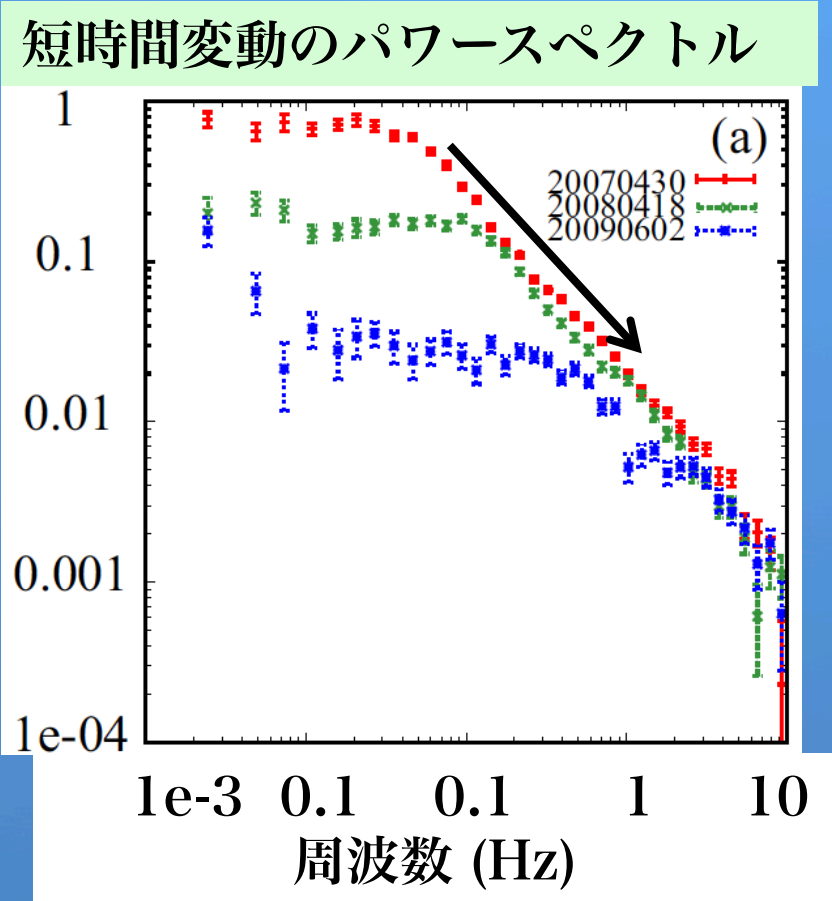
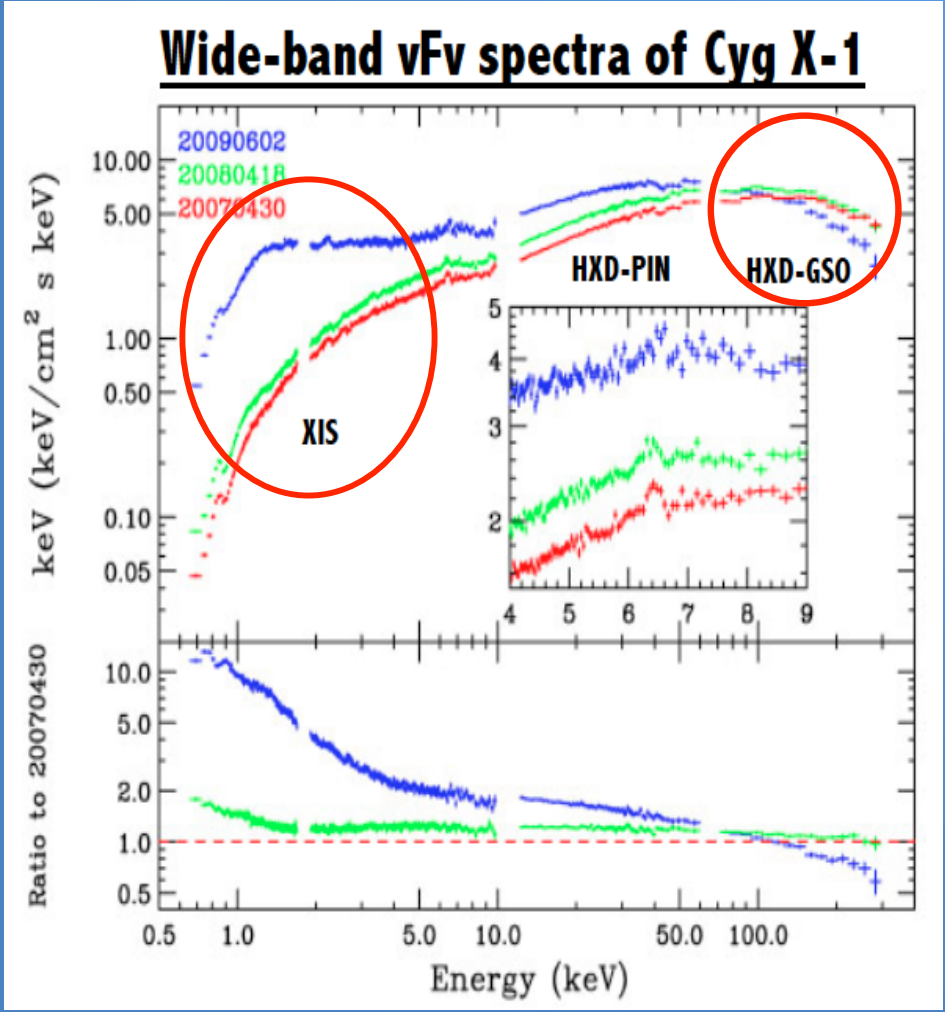
円盤の内縁半径  $\sim 15R_g$

コロナの穴の開口率が下が  
ると硬X線の強度が上昇

1980年代に提唱された「円盤-コロナ」描像を大幅強化、始めて詳細な幾何配置を決定 (Makishima+08)。

# Cyg X-1: 20回の観測 (months~years)

すべてハード状態だが、軟X線強度は2~3倍の変動。スペクトルも短時間変動も、それに強く相関 (Torii, Yamada +10)。

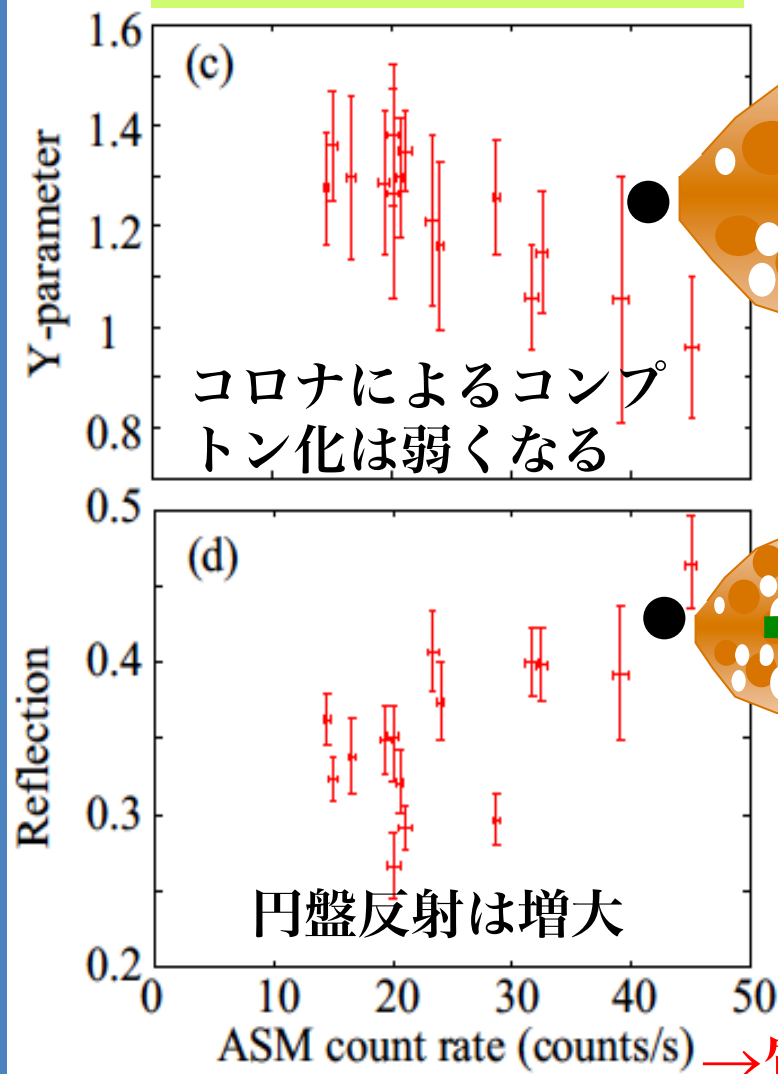


# 質量降着率との相関

(Torii, Yamada +10)

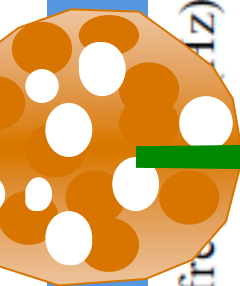
## スペクトルの特徴

## 短時間変動の特徴

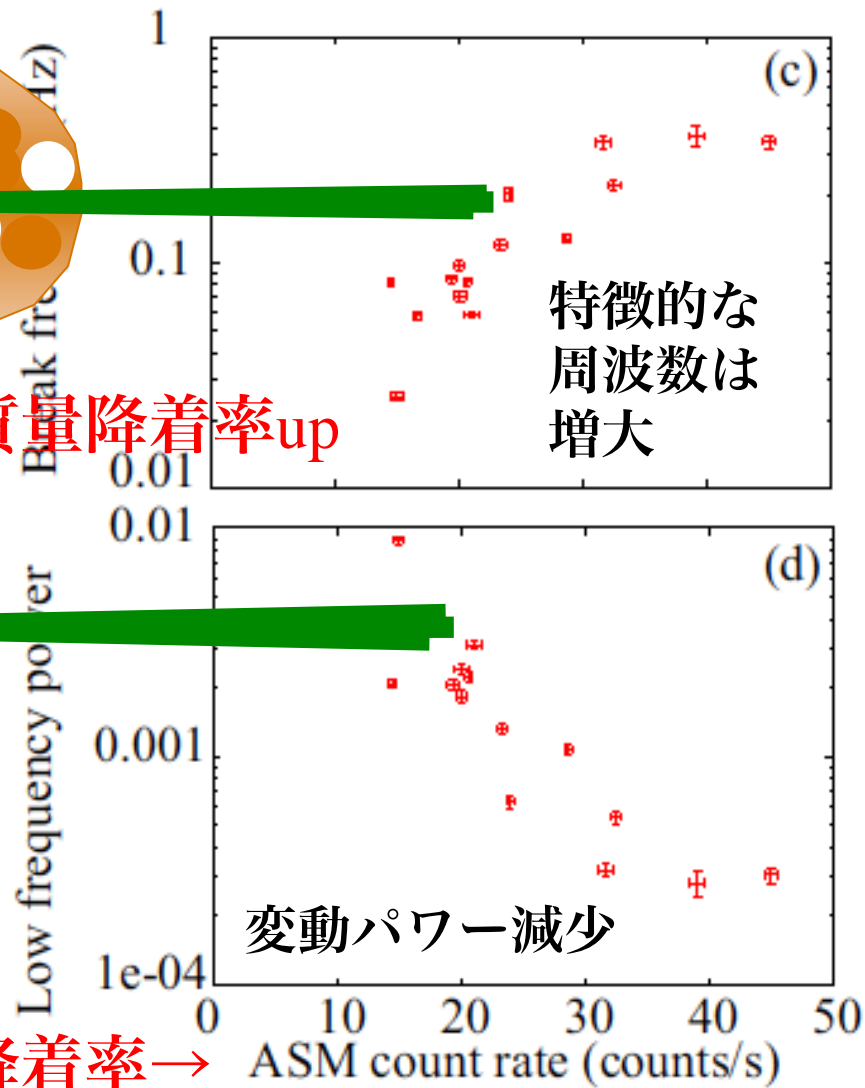


コロナによるコンプトン化は弱くなる

円盤反射は増大



質量降着率up



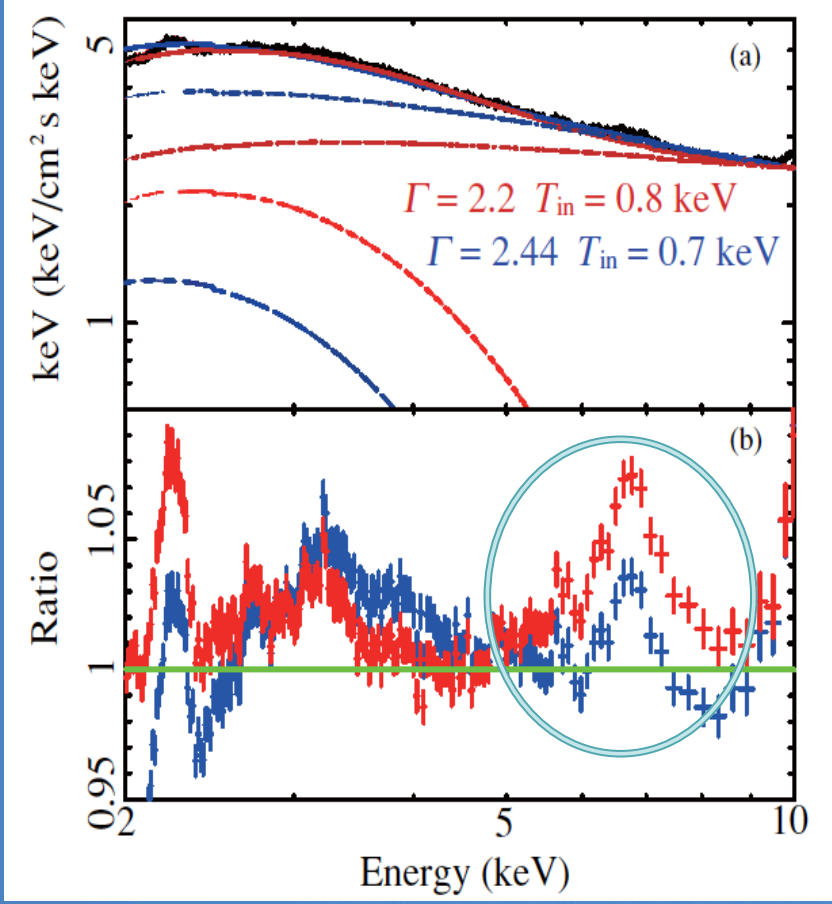
特徴的な周波数は増大

変動パワー減少

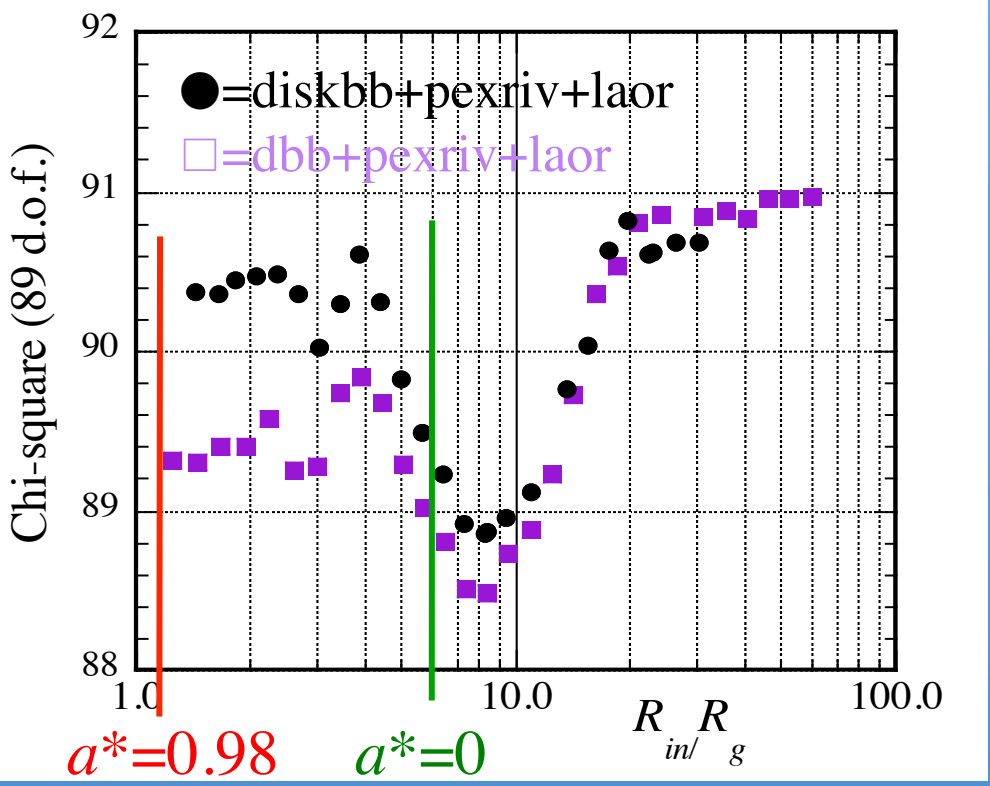


# 「相対論的に広がった鉄輝線」の論争

「すぎく」 GX 339-4



連続成分の取り方次第で、  
鉄ラインは広くも狭くもなる



Miller, Fabian+ 2008 ;  $a^* \sim 0.9$   
 Yamada, Makishima+ 2009;  $a^* < 0.4$   
 Kolehmainen & Done 2010;  $a^* < 0.9$

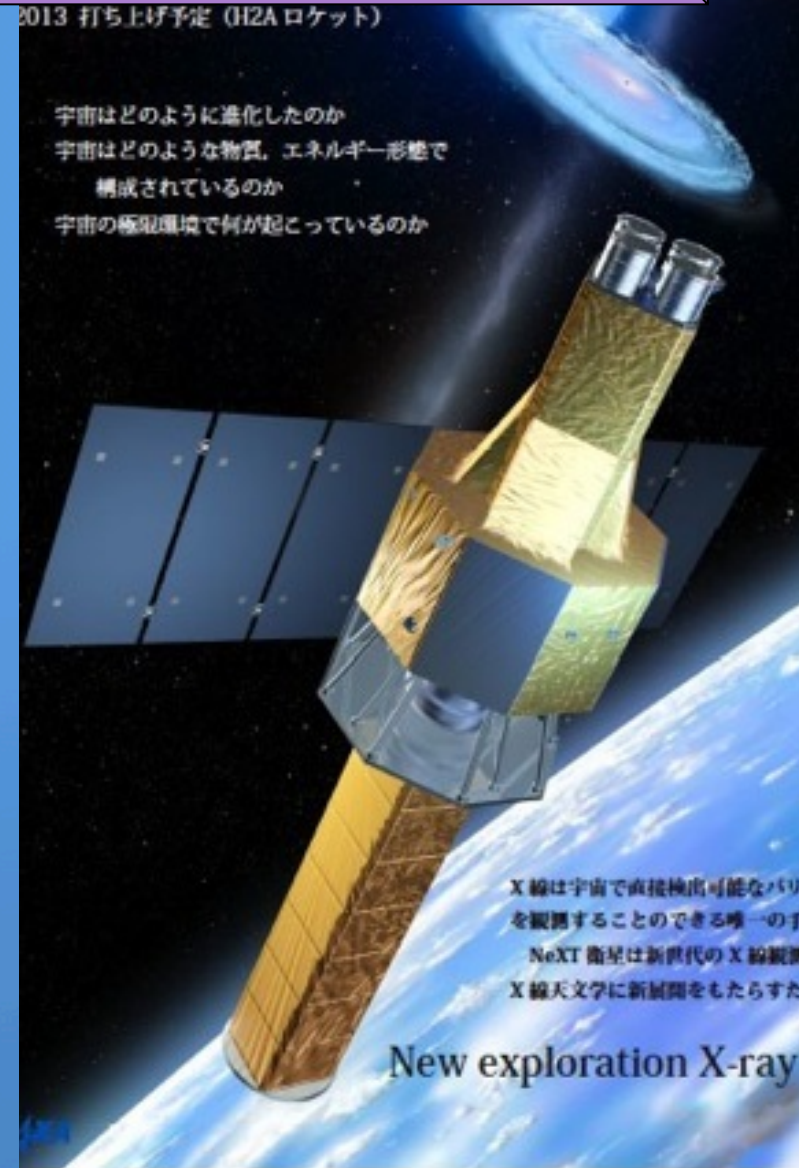
# 次期X線衛星 *ASTRO-H*

日本6機目の宇宙X線衛星、  
2014年に「すざく」後継機  
として打ち上げ予定。

- 世界初のマイクロカロリメータ ( $\Delta E/E \sim 0.05\%$ )
- 標準装備としてのCCDカメラ
- スーパーミラーと硬X線イメージャーによる硬X線の撮像 ( $\sim 80$  keVまで)
- 軟ガンマ線 (511 keV 含む) を狙うコンプトンカメラ

2013 打ち上げ予定 (H2A ロケット)

宇宙はどのように進化したのか  
宇宙はどのような物質、エネルギー形態で  
構成されているのか  
宇宙の極限環境で何が起きているのか



X線は宇宙で直接検出可能なバリ  
を観測することのできる唯一の手  
NeXT衛星は新世代のX線観測  
X線天文学に新展開をもたらす

New exploration X-ray

# ASTRO-H で狙うサイエンス

- SNRでの微量元素の探査、詳細プラズマ素過程
- 隠れたバリオンWHIMの探査
- 銀河団の合体成長過程のドップラー計測
- BHホール周辺の相対論的効果
- 銀河団の超高温成分の正体解明
- さまざまな宇宙線加速源の探査
- マグネター硬X線の詳細観測
- ガスに隠れた遠方巨大BH探査
- BH連星などでの $e^+e^-$ 対消滅線
- $^{44}\text{Ti}$  からのガンマ線探査

# まとめ

- 「すぎく」の観測により、ハード状態BHの降着流を記述する「円盤-コロナ」モデルの詳細が、格段によくわかってきた。
- 質量降着率の上昇に伴って、コロナは縮小し、円盤はより深くコロナに侵入する。
- BHのスピン (角運動量) は、円盤の内縁半径や、鉄輝線の広がりから、推定努力が続いているが、まだ明確な結論は出ていない。
- *ASTRO-H*により、BH研究に大きな進展が期待。