#### 第11回高宇連研究会「多波長で探る高エネルギー現象」

# X線衛星「すざく」による ブラックホール連星 Cygnus X-1 の研究

# X-ray Studies of the black hole binary Cygnus X-1 with *Suzaku*

東京大学理学系研究科牧島研究室 博士論文より http://ads.nao.ac.jp/NOTES/2011PhDT......1Y.html 理化学研究所玉川研究室 「すざく」衛星、Astro-H衛星、GEMS衛星チーム 山田 真也

# ブラックホール観測の意義と課題

ブラックホール(BH)研究の意義 ウフル衛星によるCygX-1 (小田+71) ・強重力場での一般相対論の検証 cts/s ・重力エネルギーの解放機構 典型的な温度  $R_{s}$ : シュワルツシルト半径 ・GM/R<sub>s</sub> ~ 放射冷却 → T~1 keV 90 ・*GM/R*<sub>s</sub> ~ *自由落下 → T<sub>p</sub>* ~ GeV  $\rightarrow T_e \sim 100 \text{ keV}$ X線・ガンマ線が最良のプローブ Cyg X-1 vFv ・激しいX線強度変動の発見('70~) ・常に明るく、~ 40年間の研究の蓄積 ・*M*~10 *M*<sub>o</sub>, *i*~45度、*D*=2.5 kpc ・ブラックホールと認定された第一号 残された観測的課題 ・BH特有な機構が強度変動を生成? ・BH重力下の(最)高温電子ガスの物理状態? 激しい時間変動との関係?

ブラックホールに特有な 物理現象か? 10秒 ソフト状態(ほぼ解明) ハード状態 (謎多し) BHに自由落下する 降着流(高温電子雲) <sup>1000</sup>E(keV) E 100 10 すざ (Gierli´nski et al. 1999)

§2.2,4.1







Cyg X-1 のスペクトル





円盤(<2keV)に対し、ソフトコンプトン(~5 keV) まで卓越。

# 「すざく」によるCyg X-1の第1観測の結果



「直見え円盤 + ソフト&ハードコンプトン」モデルでデータの再現に成功。 円盤(<2keV)に対し、ソフトコンプトン(~5 keV) まで卓越。

<u>§4.1.2</u>



## 本研究の目的

### ◆ 研究目的

- 「すざく」によるBH連星Cyg X-1の第1観測(牧島+08)で得た 「円盤 + ハード&ソフトコンプトン」モデルの検証。
- 2.1に基づき、BH連星のハード状態の物理的、幾何学的描像と質量 降着率との関係を明らかにする。
- 3. 激しい変動に迫るため、1秒以下で変動を解明する。



検出器のよりよい較正 (山田他'10PASJなど) 特定のモデルフィットに依存しない Δt (~日, ~秒, 秒以下) の変動解析

全25観測の Cyg X-1 データの系統解析



# 「すざく」によるCyg X-1の観測 ~ '09年



軟X線光度が~3倍明るく、ソフトな時期を観測に成功。

§4.2.1



#### 全25観測の広帯域スペクトルの抽出に成功。



§5.1.1

全25観測の平均スペクトル



全25観測の広帯域スペクトルの抽出に成功。

§5.1.1









1. XISでΔt = 1-2 秒で強度判定 2. それに従い、他のXIS、HXDの明暗を決定。 3. スペクトルの集積を行い、比較。

「強度判別分光法」





Time (s)



1. XISでΔt = 1-2 秒で強度判定 2. それに従い、他のXIS、HXDの明暗を決定。 3. スペクトルの集積を行い、比較。

「強度判別分光法」







Time (s)



XISでΔt = 1-2 秒で強度判定
 それに従い、他のXIS、HXDの明暗を決定。
 スペクトルの集積を行い、比較。



XISとPIN、GSOの相互相関関数



 $\Delta t = 1-2$ 秒 XISのHighとLow スペクトル



→ E < 2keV 急激に変動量が下がる。</p>



§5.1.2



§6.2.1,2 直見え円盤とソフトコンプトン成分



第3観測との比

#### 第14観測 Δt=1のHigh/Low 比

§6.2.1,2 直見え円盤とソフトコンプトン成分



第3観測との比

第14観測 Δt=1のHigh/Low 比











▶ XISOでショット判定し、それに従ってHXDデータを集積



ショットのスペクトル変化



Time (s)

§5.3.3

### 軟X線帯域でのショット解析



E < 1 keV でかなり対称な変動。

E < 2 keV で変化が顕著

E < 1 keV のショットプロファイルの取得にはじめて成功。 直見え円盤が下がり、コンプトンが増える。

§6.2.1,2

### 簡単なまとめと物理的解釈



まとめ

- ◆ 「すざく」衛星を用いて、ハード状態におけるブラックホール連星 Cyg X-1の全25観測(合計~400ks)を、検出器較正も行い、慎重に解析した。
- ◆ 長期と短期の時間変動解析から、ハードなコンプトン放射では説明できな いソフトな成分(E ~ 5 keV)と、ひじょうにソフトな成分(E < 2 keV)が必 要なことがわかった。これらは、牧島+08で得た、「直見え円盤 + ソフト &ハードコンプトン」で解釈でき、この描像をはじめて時間変動解析から 補強できた。
- ◆ コロナが円盤を覆う割合が変化することで、明るさの変化を解釈できる。
- 「すざく」の高時間分解能モードを用いることで、100 keV 以上と、2 keV 以下で、はじめてショットプロファイルを取得することに成功した。
  1秒以下で明るくなる際、コロナの開口率が増える事で、電子温度が下がり、
  り、
  *x*が上昇し、
  *y* パラメータが下がり、
  その直後、
  それらは時間平均的な値に戻ることがわかった。







X線帯域だけで、ジェットとコロナの縮退を解くのは極めて難しい。 → X線"変動"と多波長"変動"との関係