

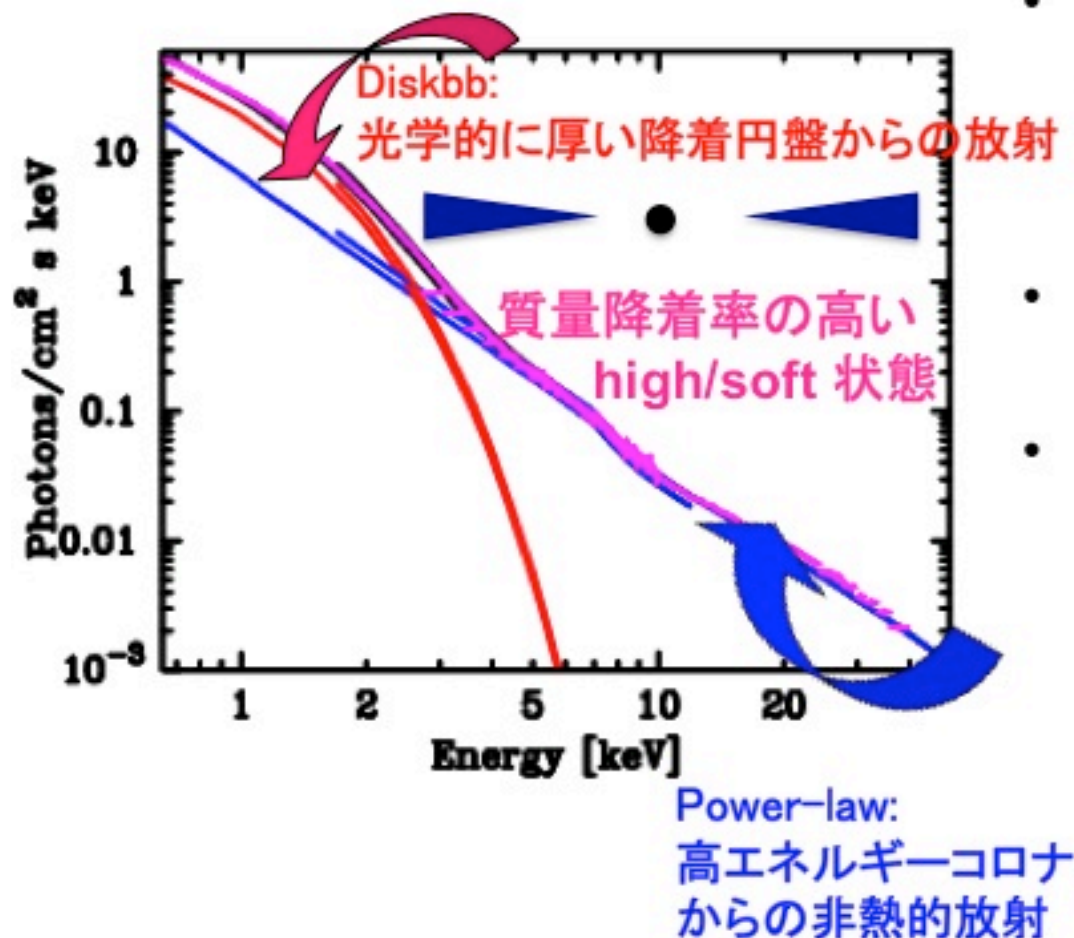
「すざく」によるBH天体GX339-4の 観測と降着円盤モデルの検証

芝浦工業大学

田村愛美

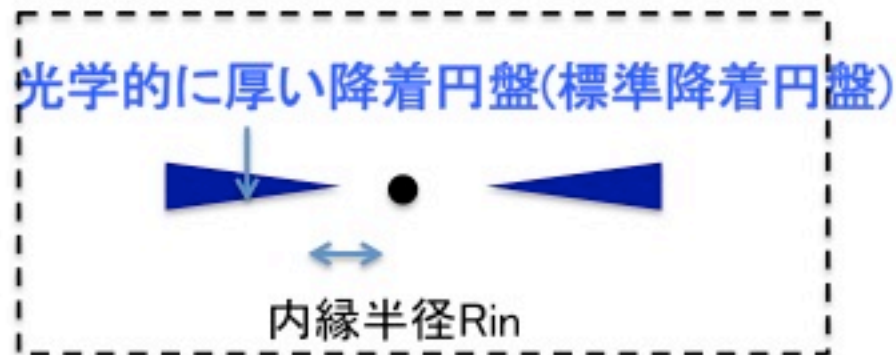
ブラックホールのスペクトル状態

はくちょう座X-1のX線スペクトル



- ブラックホール連星は、左のX線スペクトルのようにsoft 状態と hard状態の2つの典型的な状態を取ることが知られている。
- hard状態は質量降着率の小さい状態である。
- 降着率が上がることでhigh/soft状態へ移り変わる。このときのエネルギースペクトルは、工学的に厚い降着円盤からの放射スペクトル(red)と、高エネルギーコロナからの非熱的放射(blue)の重ね合わせ(pink)と考えられる。

High/soft state の降着円盤 ～標準降着円盤の描像～



★標準降着円盤 (Shakura, Sunyaev 1973)

①光学的に厚く(黒体放射)、幾何学的に薄い→diskbbモデル

→重要ポイント1
円盤光度

$$L_{disk} = 4\pi\sigma R_{in}^2 T_{in}^4$$

Diskbbの内
縁温度

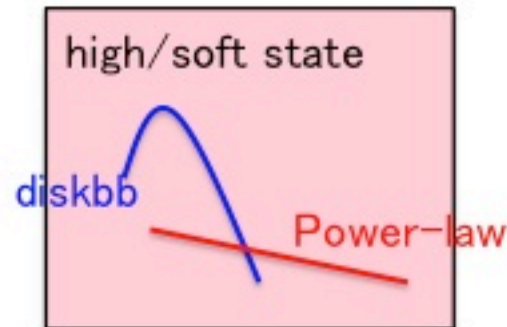
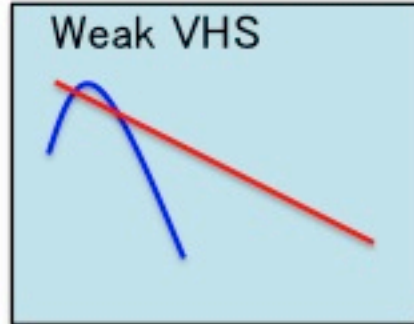
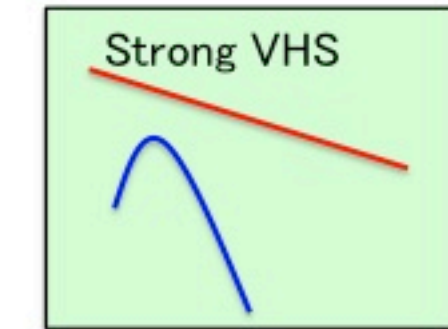
②降着物質はケプラー回転をしながら内側に落ちて行く。

→重要ポイント2

円盤の内縁半径 R_{in} = BHの最終安定軌道 R_{ms}

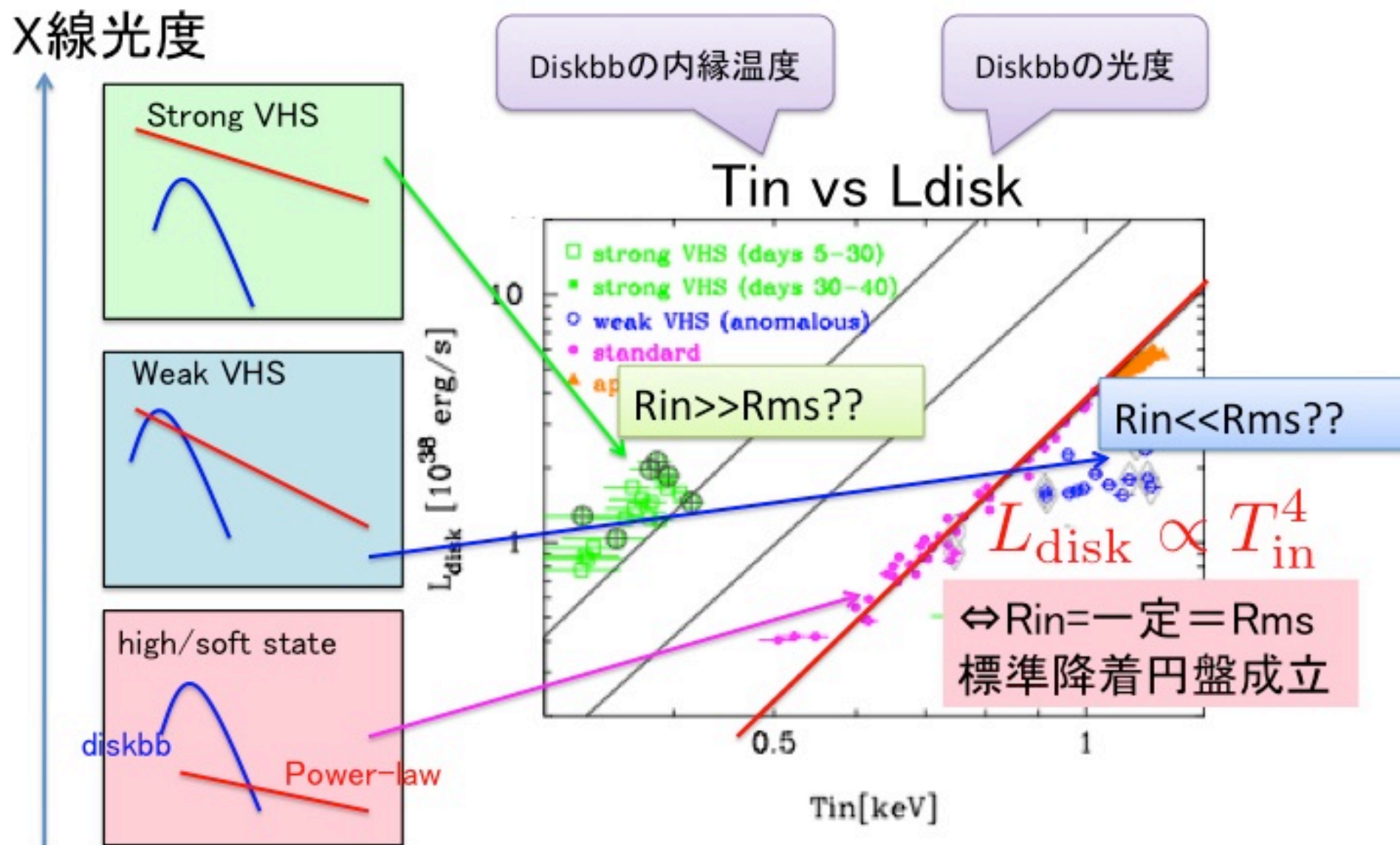
High/soft state からvery high state へ

X線光度



- エディントン限界高度の10%以上の明るい状態をvery high stateといい、さらにVHSのなかでも、weak VHS strong VHSと分けられる。
- high/soft状態のスペクトルは、低エネルギー側がdiskbbで、高エネルギー側がべき関数powerlawであらわされる。

先行研究の解釈



XTEJ 1550-564 (Kubota, Done 2004)

- High stateのときの内縁半径は、最終安定軌道として一定となり、標準降着円盤が成立する。
- Weak VHSのときの点の集まりは、T-L図の赤いライン(半径が一定のライン)右側に集まり、内縁半径が最終安定安定軌道よりも小さくなる。
- strong VHSでは赤いライン(傾き)よりも大きく左側に点が集まり、降着円盤の半径が大きく外側に広がっている結果が得られた。

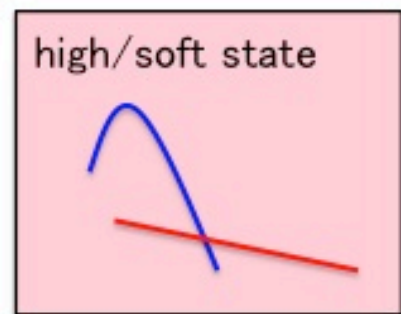
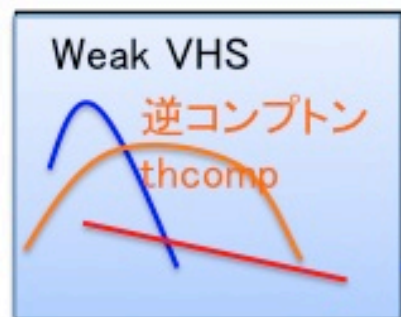
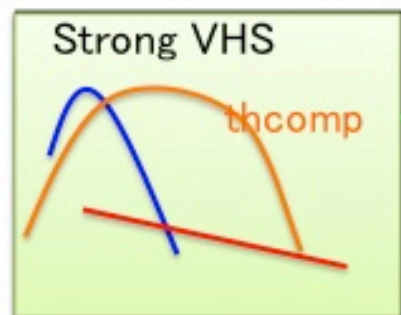
しかし、VHSをdiskbb+power-lawでフィットしてはいけない!
(円盤のパラメータを誤る。Kubota, Makishima, Ebisawa 2001)

そこで

高降着率の時の逆コンプトン散乱を正しく表すモデルで再評価をおこなう。

強い硬X線放射は 高温コロナによる熱的逆コンプトン散乱

X線光度

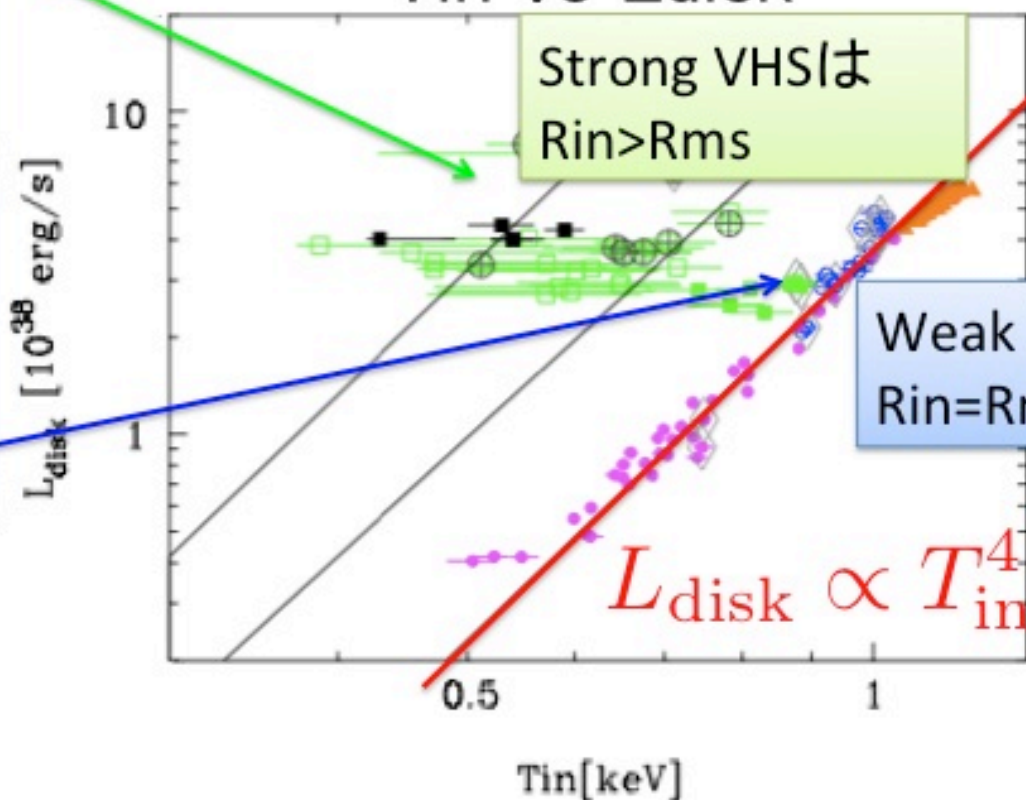


標準降着円盤



高温コロナ $T_e \sim 10 \text{ keV}$

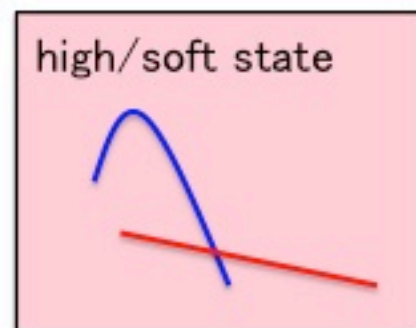
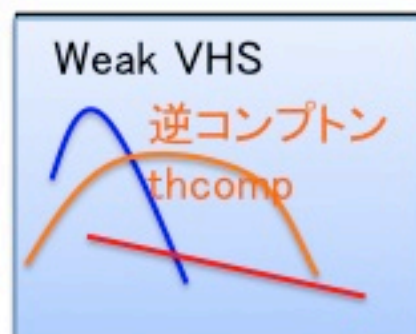
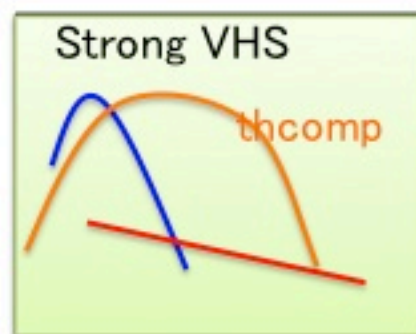
T_{in} vs L_{disk}



XTEJ 1550-564 (Kubota, Done 2004)

強い硬X線放射は 高温コロナによる熱的逆コンプトン散乱

X線光度



$R_{in} \gg R_{ms}$



$R_{in} = R_{ms}$



$R_{in} = R_{ms}$



大量の高温コロナ



高温コロナ



標準降着円盤



最終安定軌道 R_{ms}

- High/low state:内縁半径が最終安定軌道で一定
- weak VHS:高温コロナによる熱的逆コンプトン散乱を考慮することで、最終安定軌道で一定。つまりこのとき、降着円盤の周りにはコロナが形成されている。
- strong VHS は、大量のコロナがBH周辺に形成され、降着円盤が、内側まで入って来れず、最終安定軌道は内縁半径よりもおおきく広がっている描像が理解できる。

Strong VHS では
diskはRmsに達しない。
(XTE J1550-564の結果)

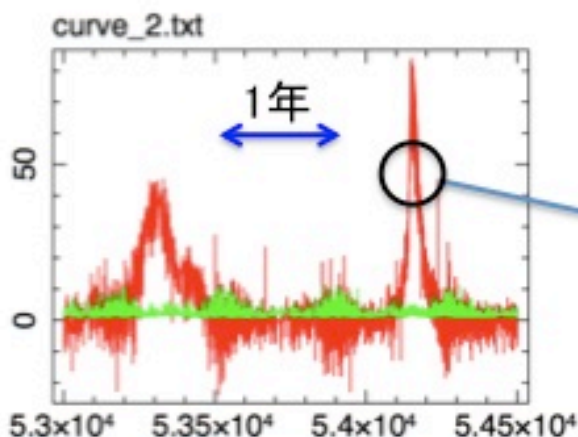


これはブラックホール一般に
成立するのか？



本研究では、strong VHSであるgx339-4の解析を行い、この描像がgx339-4にも当てはまるのかどうか考察する。

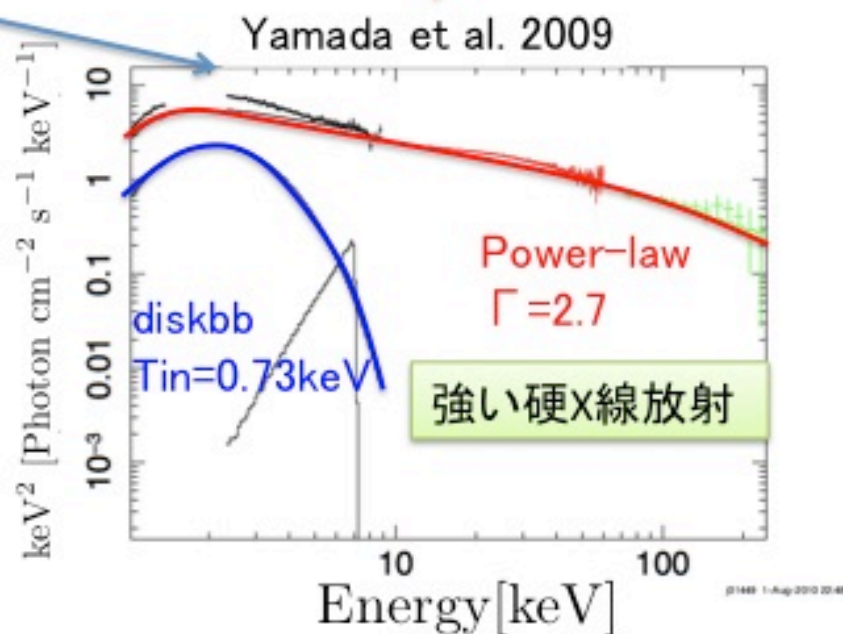
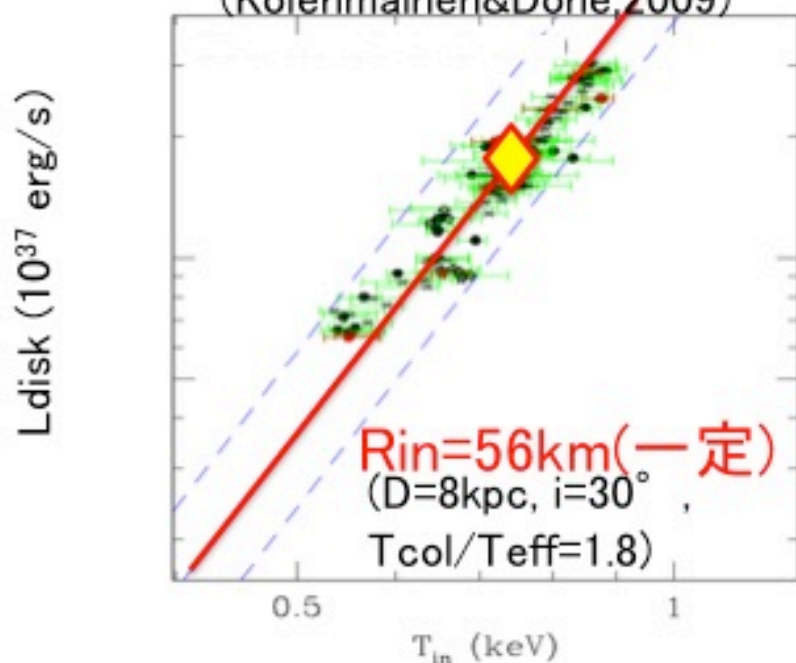
GX339-4のstrong VHSのすざくによる観測



すざくによる観測 (2007/2/12-15)
 $L_x = 3.8 \times 10^{38} \text{ erg/s} = 0.4 L_{\text{edd}} (8 \text{ kpc})$

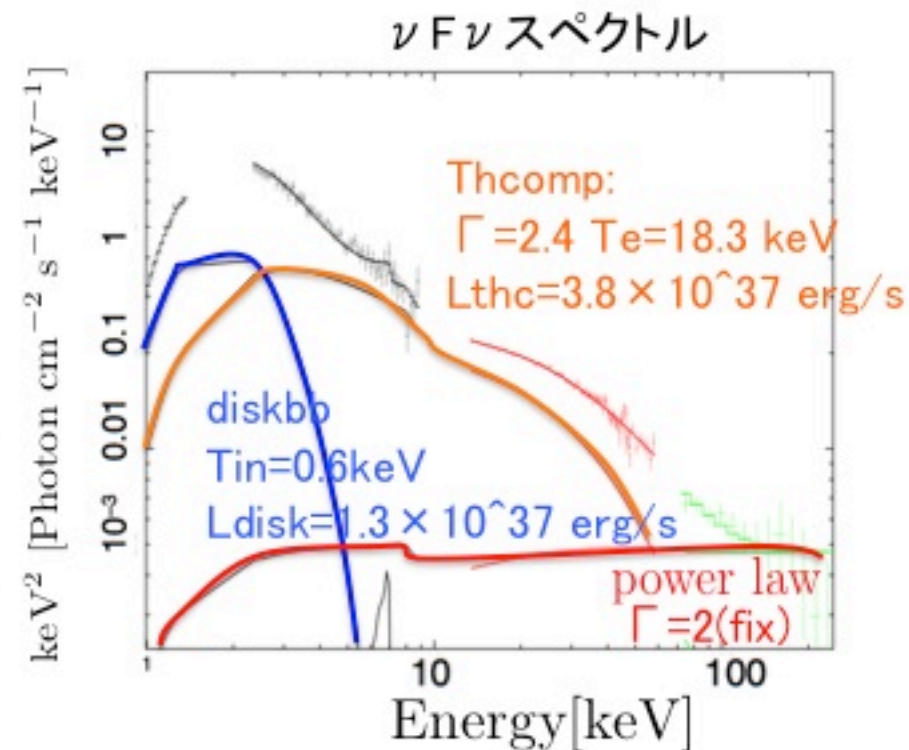
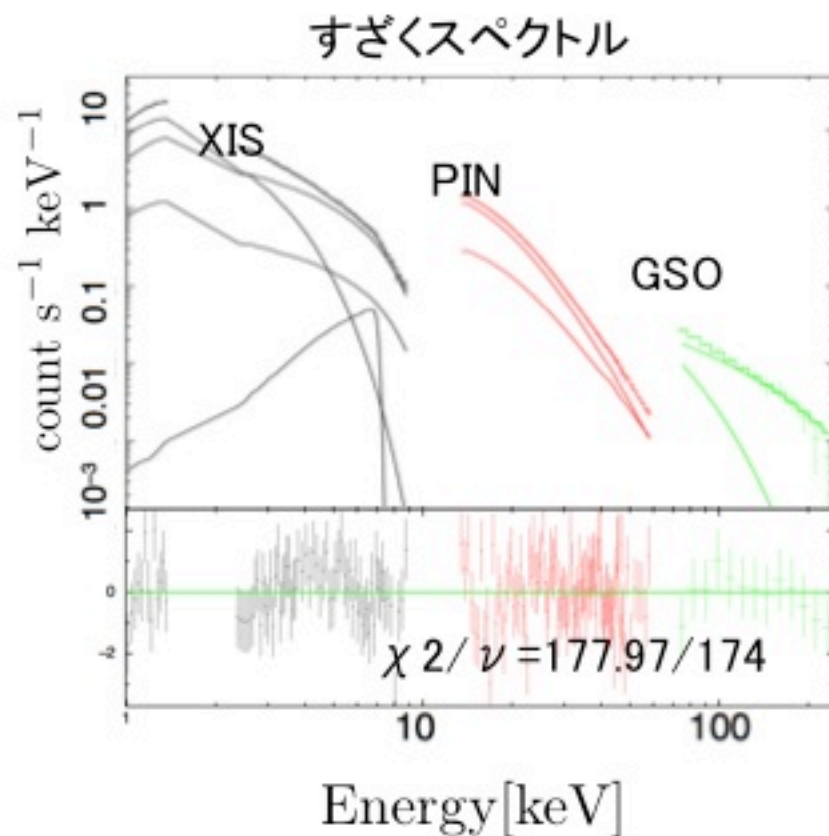
鉄輝線に着目

GX339-4のhigh/soft stateの T-L図
 (Kolehmainen & Done, 2009)



まぎれもなくstrong VHS!
 Diskの真のパラメータは?

熱的逆コンプトンモデルによる円盤の評価



円盤内縁半径の導出

逆コンプトン散乱の前後で光子数は不変

内縁温度0.6keV

$$F_{\text{disk}} + F_{\text{thc}} \cos i = 0.0165 \left[\frac{r_{\text{in}}^2 \cos i}{(D/10\text{kpc})^2} \right] \left(\frac{T_{\text{in}}}{1\text{keV}} \right)^3 \text{ photon s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

Kubota, Makishima 2004

Diskbbの光子フラックス
21.9 光子/s/cm²

thcompの光子フラックス
9.3 光子/s/cm²

→ Rin = 105 km

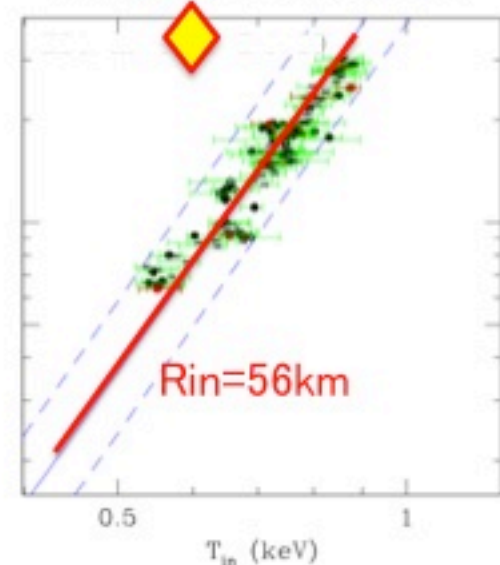
(D=8kpc, i=30°, 補正係数1.19 Kubota+ '98)

>> Rms (56 km ; high/soft state)

DiskがRmsに達しないことがGX339-4
のすざくデータでも確認できた！

GX339-4の T-L図
(Kolehmainen & Done, 2009)

L_{disk} (10³⁷ erg/s)



まとめ

- GX339-4のstrong VHSのすざくによる観測に熱的逆コンプトン散乱モデルを応用し、VHSではたしかに円盤内縁半径が最終安定軌道より大きくなることを確認した。
- これはXTE J1550-564につづき2天体目であり、strong VHSでは円盤内縁半径は R_{ms} に達していないことが一般と言える可能性が高くなった。