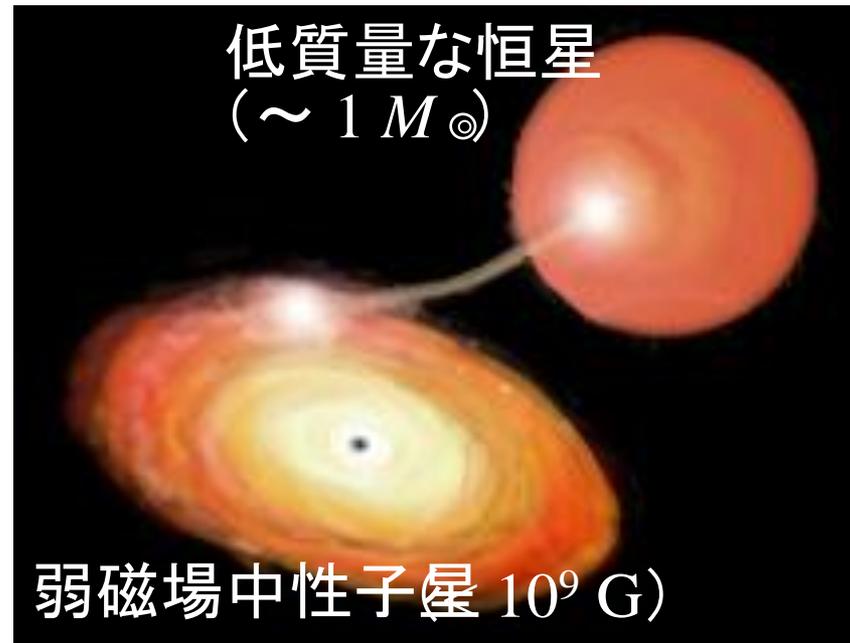


弱磁場中性子星を含む低質量X線連星系の High/Soft状態における質量降着流の振る舞い

(HT+, 2011 ApJ 738, 62-71)

高橋 弘充、北村 唯子、深沢 泰司 (広島大学)、
桜井 壮希、牧島 一夫 (東京大学)



低質量X線連星系(LMXB)

定常放射: 数時間~年で変動

コンパクト天体への質量降着流

弱磁場中性子星(NS)、恒星質量ブラックホール、活動銀河核

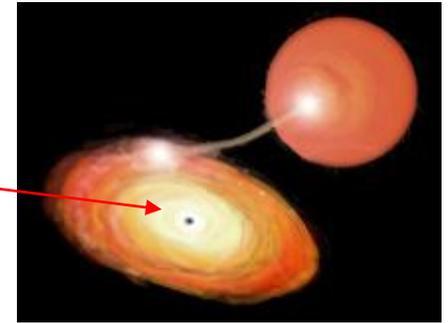
莫大な重力エネルギーが解放

NS: $\sim 10\%$ 静止質量

(質量 $M \sim 1.4M_{\odot}$ 、半径 $\sim 10\text{km}$)

→ 運動エネルギー、放射エネルギー

X線



どのようにエネルギーが変換されているのか？

・LMXBの物理的な描像 (満田 et al. 1984、牧島 et al. 1989)

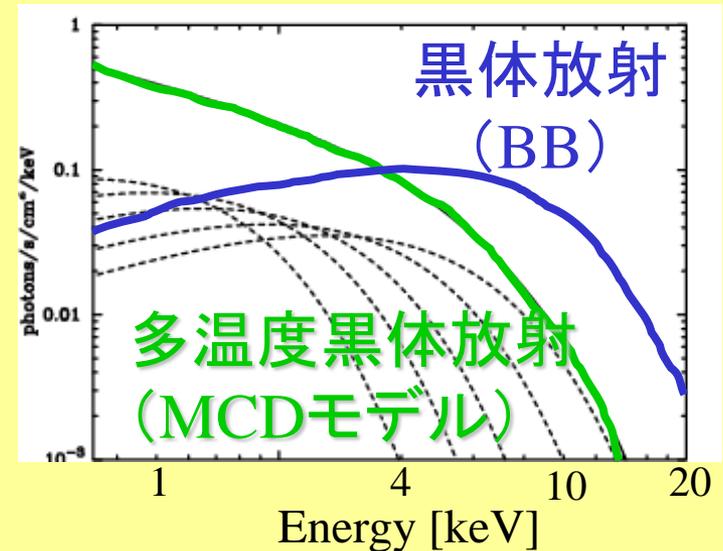
定常放射: 降着円盤 + NS表面

光学的に厚く

幾何学的に薄い



降着円盤



LMXBの状態遷移

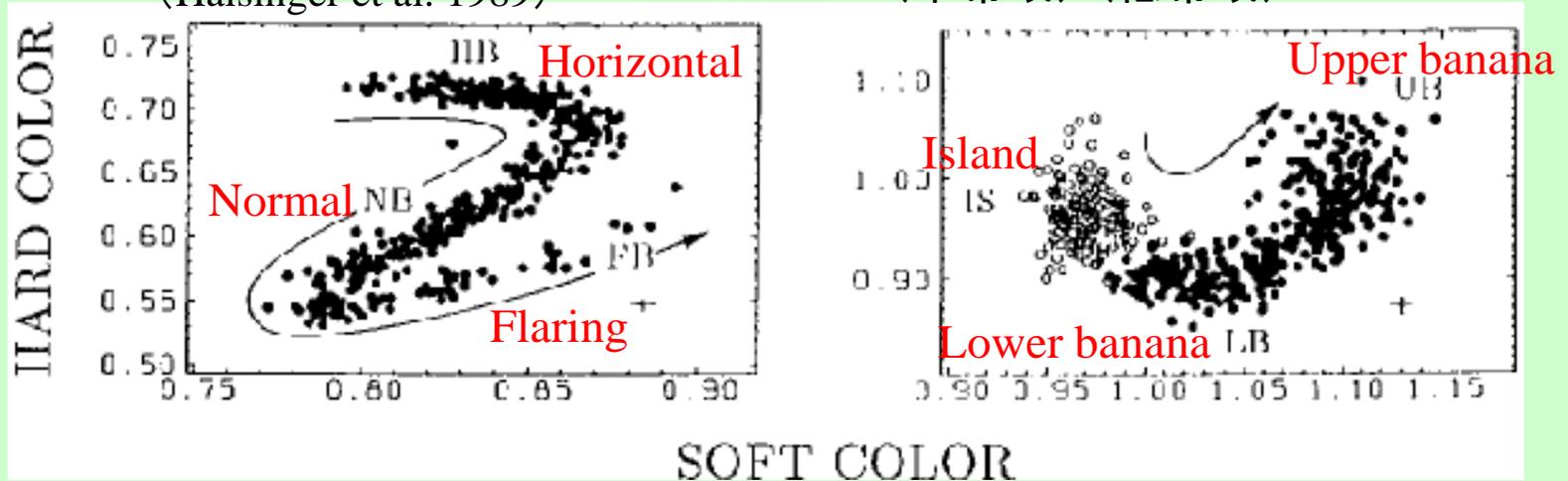
・状態遷移

color-color 図 (CCD)
(Haisinger 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)



Z天体: 形がZ

光度

明るい

質量降着率: エディントン限界付近

Atoll天体: 形が環礁

暗い

エディントン限界以下

それぞれの状態での物理的な描像は？

ブラックホール連星系なら、low/hard, high/soft, Slim disk 状態。。。

今回は、Atoll天体の Upper banana (high/soft) 状態の話

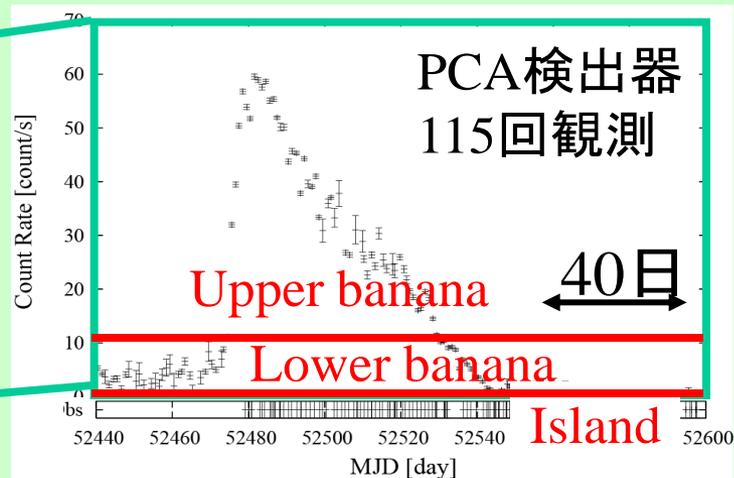
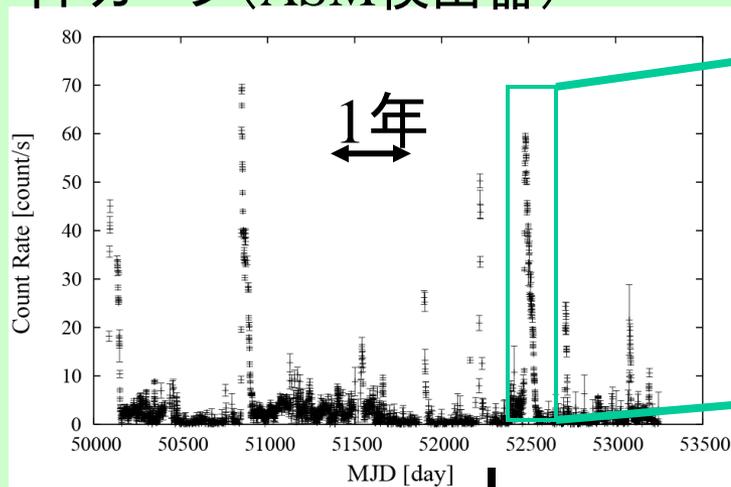
4U 1608-522

距離: 3.6 kpc

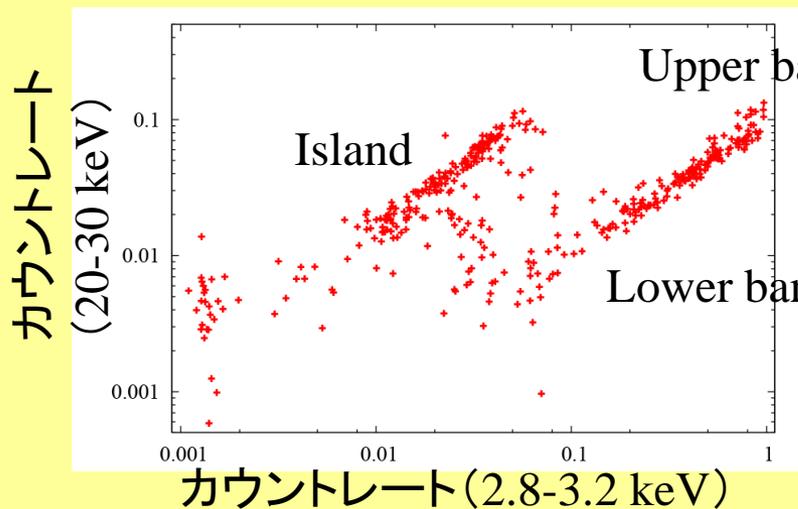
(Type I バーストから推定)

Atoll天体、質量降着率がエディントン限界以下

ライトカーブ(ASM検出器)



Intensity-Intensity図 (IID: 1観測ごと)



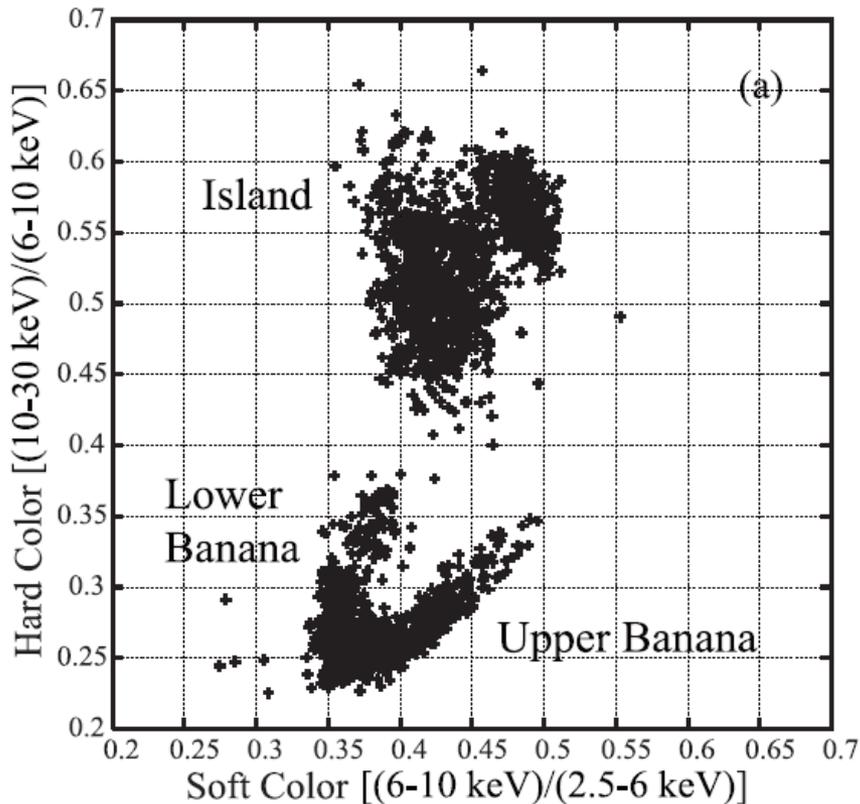
一番明るい時
 $\sim 4 \times 10^{37}$ erg/s

目的(1)

UB での一般的な振る舞いは?

4U 1608-522

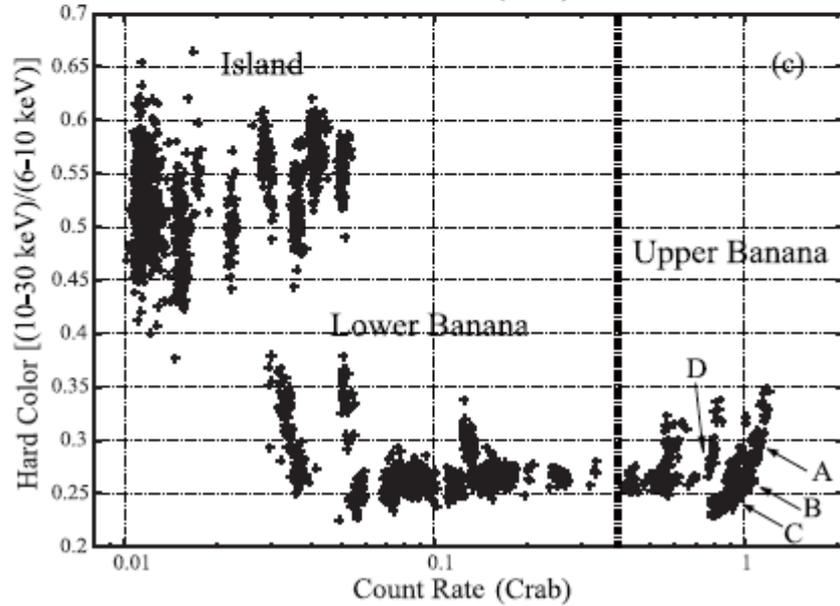
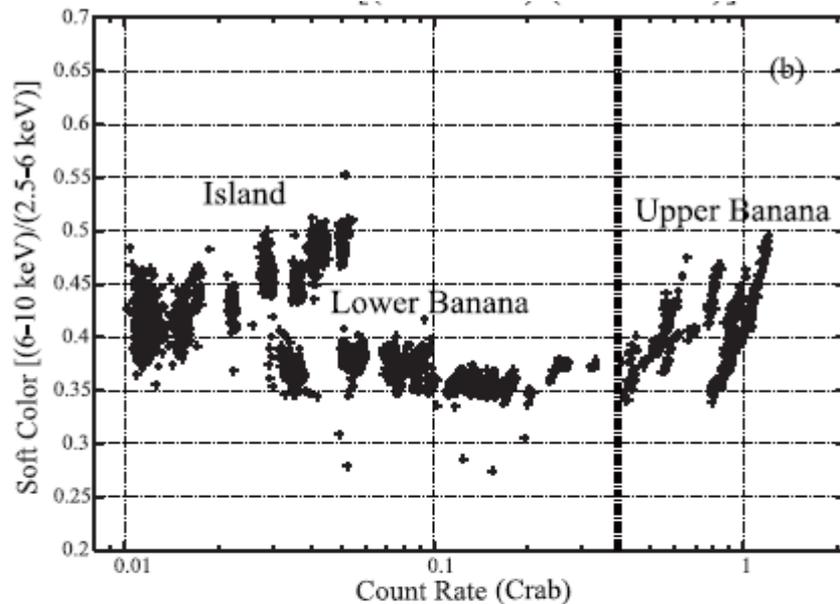
Color-Color Diagram (CCD)



目的(2)

UB で、光度には依存せずに
変動している物理量は？

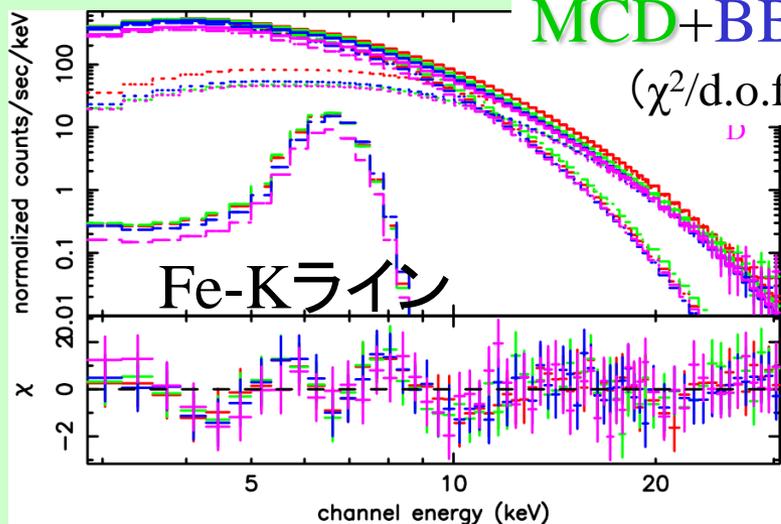
Hardness-Intensity Diagram (HID)



パラメータの変動

Upper banana (UB) 状態の95観測を解析
1観測は数 ks

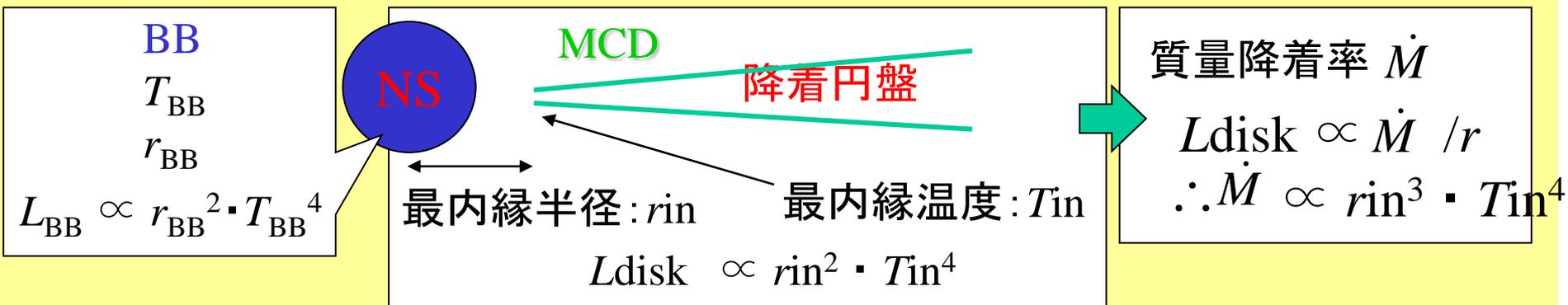
生スペクトル



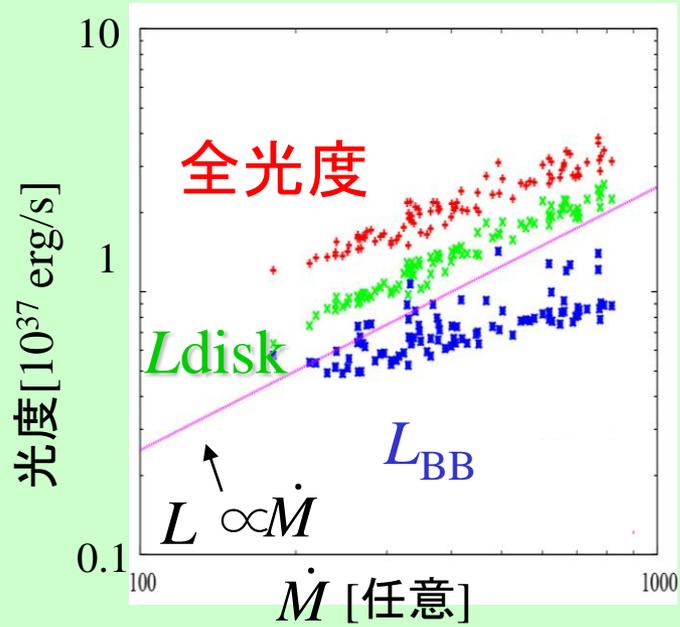
全スペクトル ($> 1 \times 10^{37}$ erg/s : UB 状態) を再現

得られる物理量

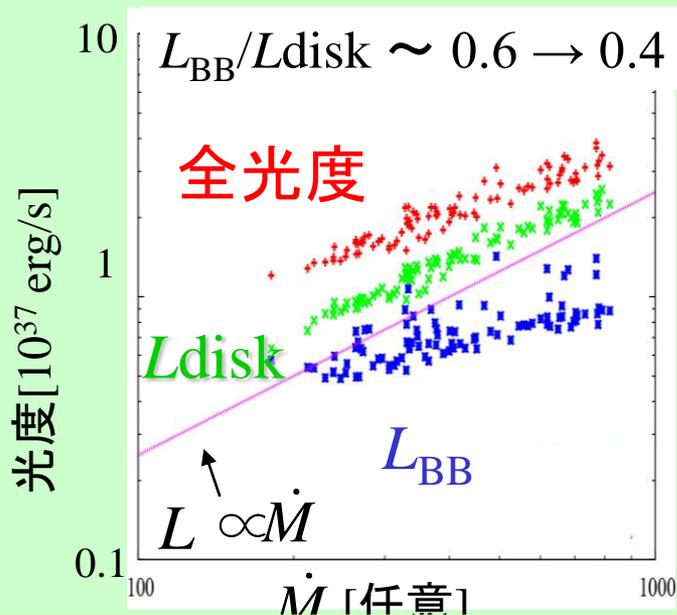
観測量: 温度、半径 \rightarrow 光度、質量降着率 \dot{M}



パラメータの変動: 目的(1)



パラメータの変動: 目的(1)

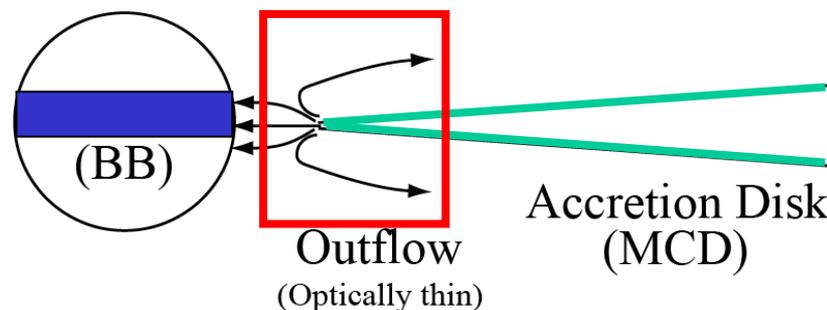
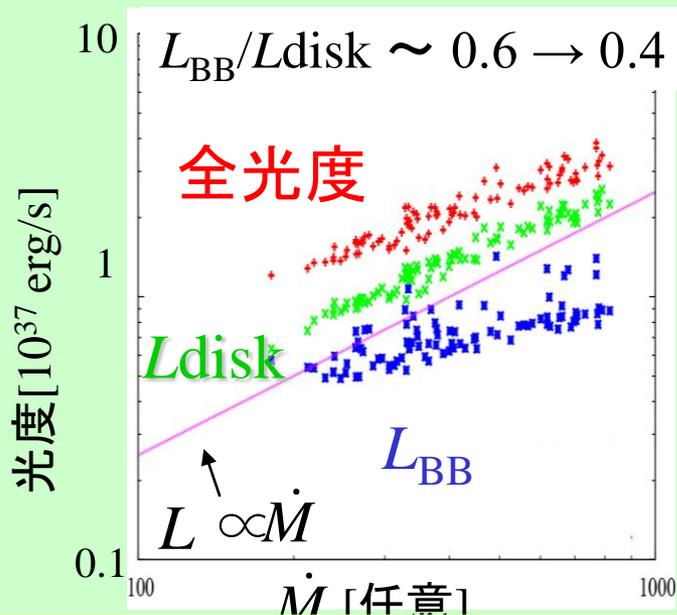


・ $L_{\text{BB}} \propto \dot{M}$ ほど上昇しない



放射圧(円盤+NS表面)によりNS手前からアウトフロー

パラメータの変動: 目的(1)



・ $L_{BB} \propto \dot{M}$ ほど上昇しない

重力
エネルギー

→ 1/2

円盤からの放射

$$L_{disk} = \frac{G M \dot{M}}{2 r_{in}} \propto \dot{M}$$

→ 1/2

回転運動

NS表面に降着すると $L_{BB} \propto \dot{M}$

ビリアル定理

物質の一部(約20%)が
NSに降着していない

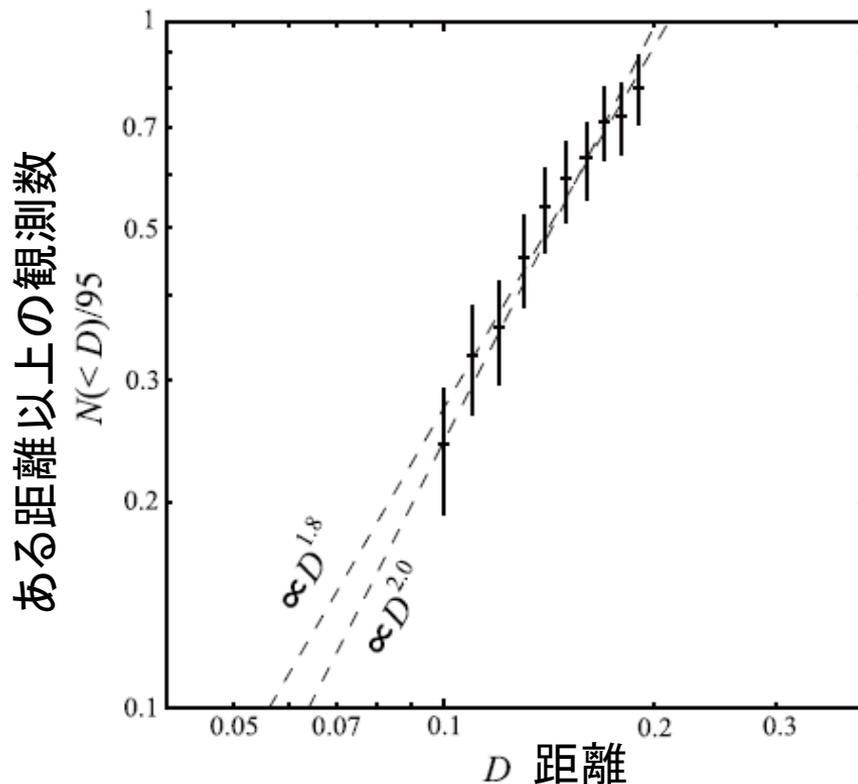
放射圧(円盤+NS表面)によりNS手前からアウトフロー

変動成分の自由度

- ・今までのフィットパラメータは4つ (T_{in} , r_{in} , T_{BB} , r_{BB}) だが、すべてが独立とは限らない
- ・フラクタル次元解析を行った

平均値からのズレ(距離) D は、自由度が1なら1次元(線上)を動く \Rightarrow 距離は1次関数
2 2 (面上) \Rightarrow 2

$$D(i) = \left[\sum_{k=1}^4 \{y_k(i)/\sigma_k\}^2 \right]^{1/2} \quad (i = 1, 2, \dots, 95),$$

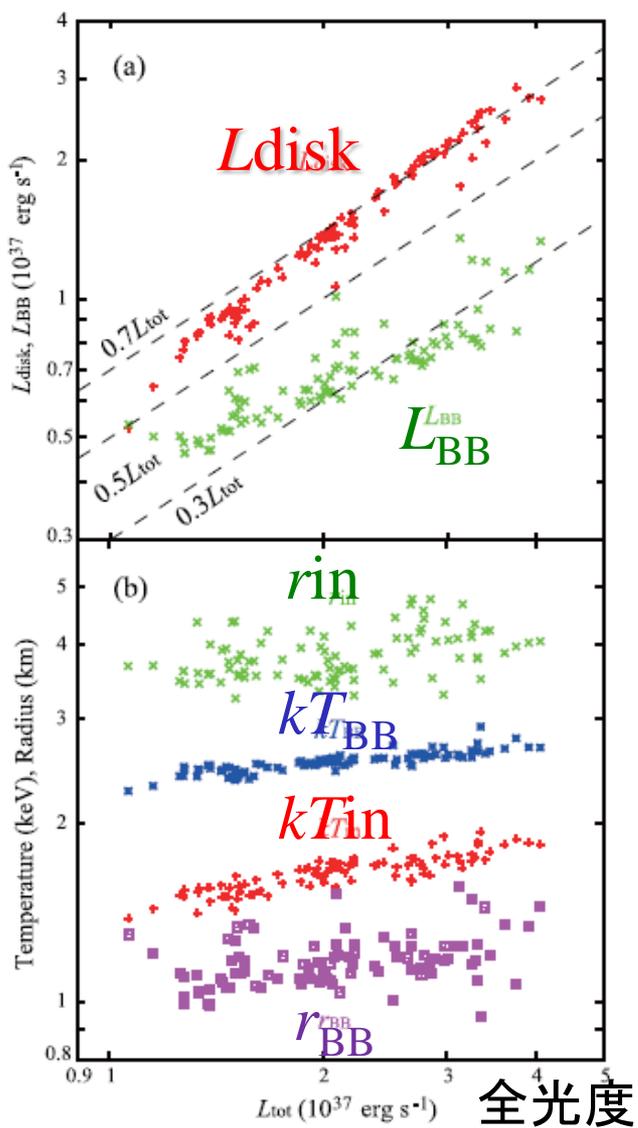


2次関数と一致
 \Rightarrow 変動の自由度は2
と考えられる

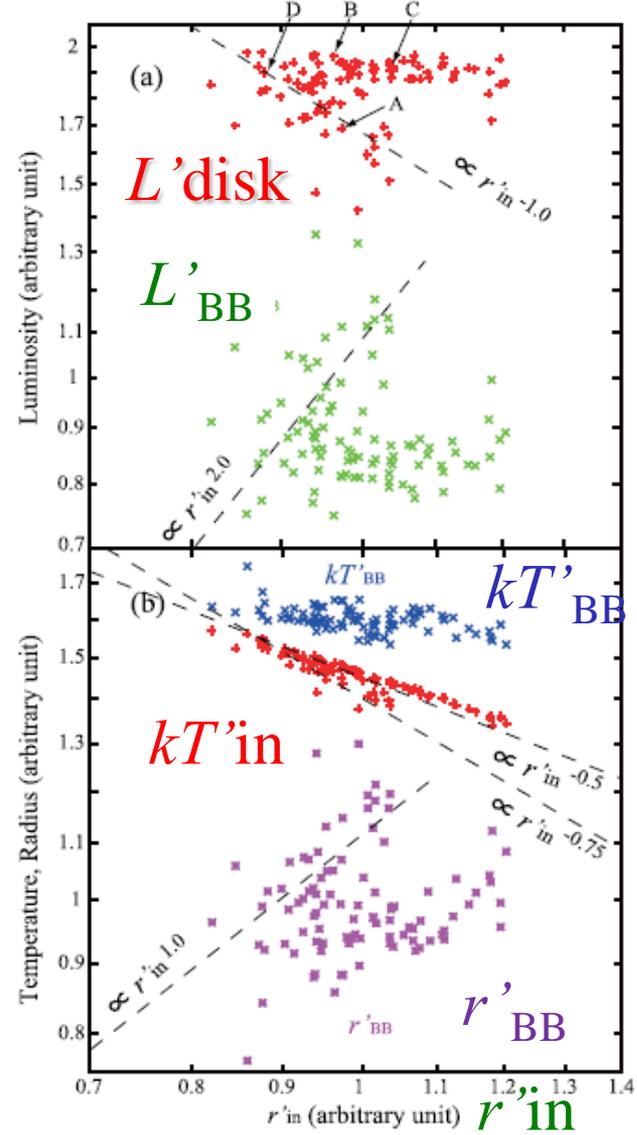
1つは L_{tot} (全光度、質量降着率)
もう1つは? : 目的(2)

光度に依存しない自由度は何か？ : 目的(2)

普通の変動の図
(L_{tot} との相関)



予想される平均値を差し引いた変動成分 (X') の図
(r'_{in} との相関)



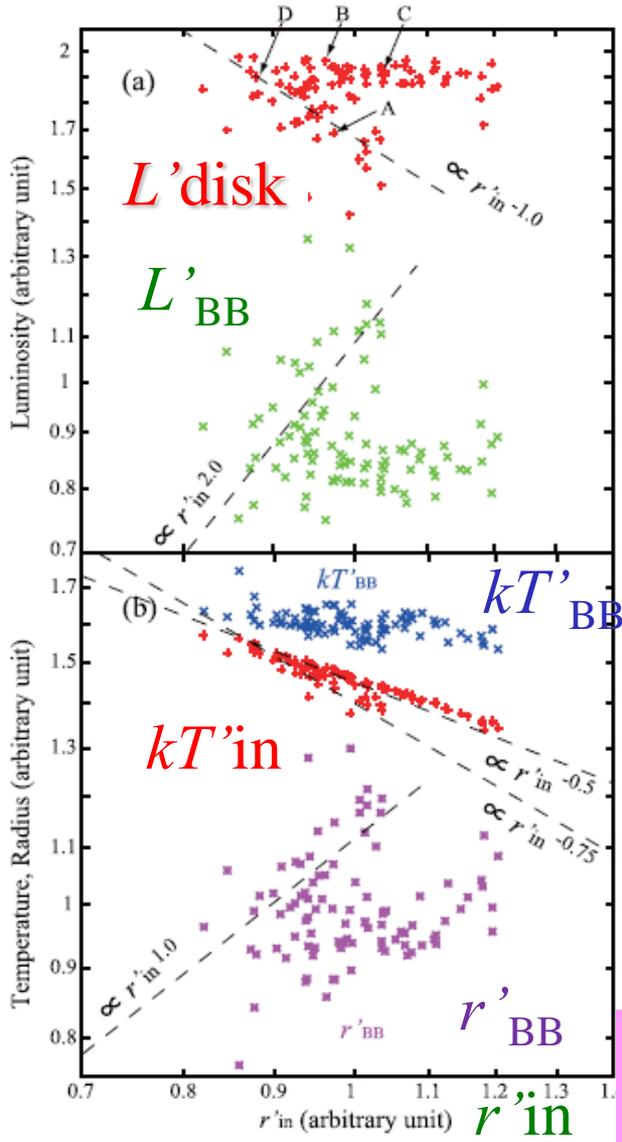
変動の仕方が2つ
 ・ L_{disk}, L_{BB} は
 ほとんど変動せず
 (Constant-luminosity
 branch: CLB)

 ・両光度が反相関
 (Variable-luminosity
 branch: VLB)

両branchは、 $r'_{in} \sim 0.85$
で接しているかも？

光度に依存しない自由度は何か？ : 目的(2)

前ページの右図(変動成分の分布)



CLBの特徴

- ・光度は変化しない
 - ・BB成分の変動はない
 - ・円盤成分は $kT'_{in} \propto r'_{in}^{-0.5}$
- ⇒ 解釈: 本当に r_{in} が変動?
 r_{in} の変動は見かけ上
 (r_{in} は一定で hardening factor が変化?)

VLBの特徴

- ・光度が反相関 (L'_{disk} は減少、 L'_{BB} は増加するのみ)
 - ・BB成分は、 L'_{BB} の変動に対して増加
 - ・円盤成分は $kT'_{in} \propto r'_{in}^{-0.75}$
- ⇒ 解釈: **本当に r_{in} が変動?**
 r_{in} の変動は見かけ上
 (r_{in} は一定で hardening factor が変化?)

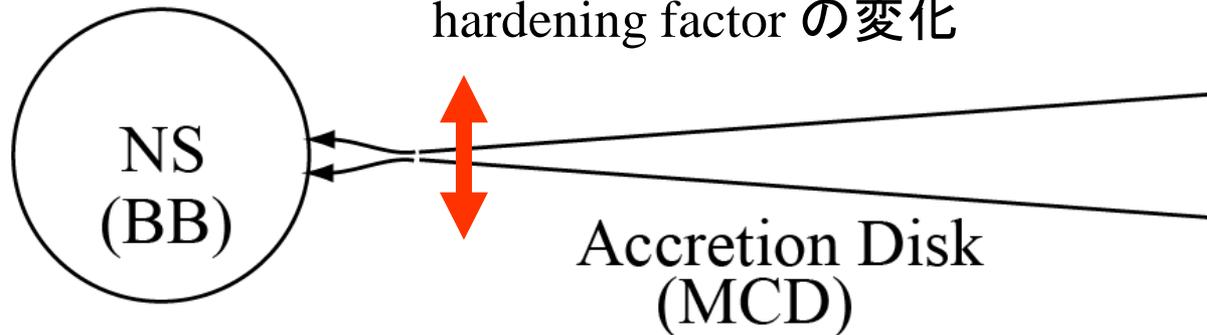
自由度2とは、 L_{tot} (全光度、質量降着率)と r'_{in} (円盤の最内縁半径の見かけ上/実際) の変動と考えられる

いま考えている描像

CLB

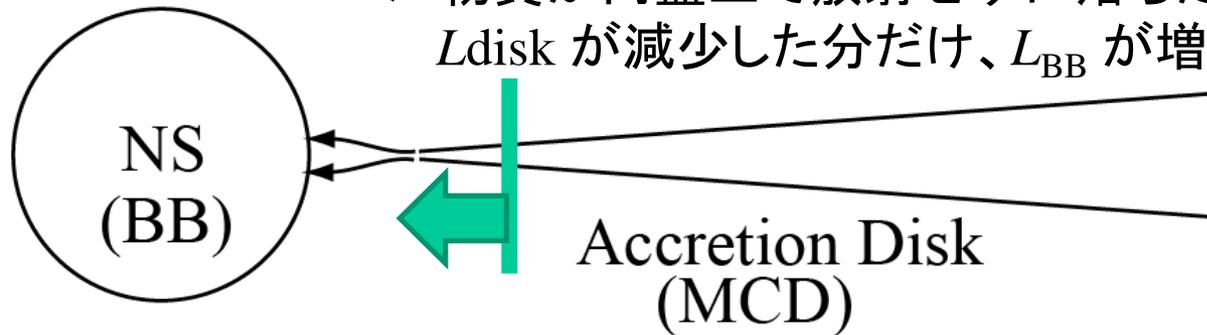
最内縁半径の見かけ上の変化
=< 円盤の厚みが上下に振動
hardening factor の変化

円盤が厚い
完全にBBにならずに、多少は
コンプトン散乱されている？
(hardening factor 大
=> kT_{in} 大、 r_{in} 小になる)



VLB

最内縁半径が実際に遠ざかる
=< 物質が円盤上で放射せず
に落ちた先のNS表面で放射
 L_{disk} が減少した分だけ、 L_{BB} が増加



CLB と VLB は $r'_{in} \sim 0.85$ でつながっている？

<= CLB であまりに円盤が厚くなると、円盤の最内縁がゴソッと落ちてしまう？

まとめ

(HT+, 2011 ApJ 738, 62-71)

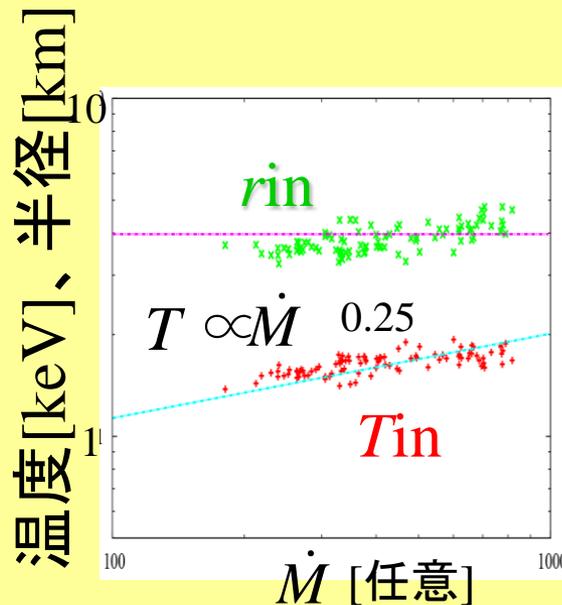
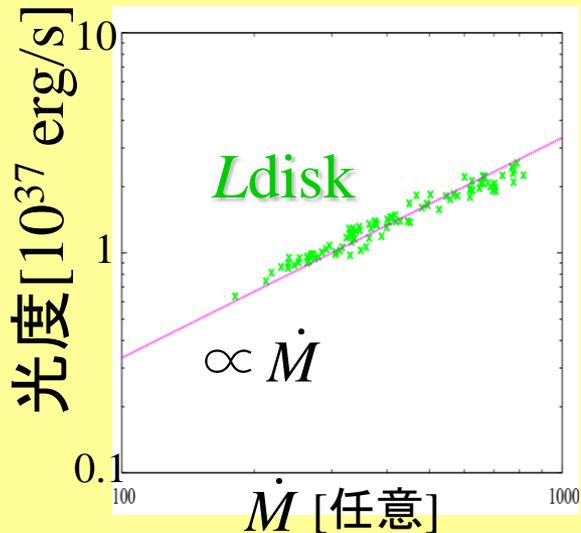
- Atoll天体 4U 1608-522 の Upper Banana (high/soft)状態の XTE衛星による 95 観測を解析した。
- 全光度が上昇するにともなって、円盤放射ほどBB放射が増加しないことが分かった。
これは、**放射圧(円盤+NS表面)**によりNS手前からアウトフローが起きていると考えられる。目的(1)
- Upper Banana 状態の変動は、**2つの独立な自由度**で説明されることが分かった。
1つは、**全光度(質量降着率)**
もう1つは、**円盤の最内縁半径(見かけ上/実際)**
の変動と考えられる。目的(2)
- Upper Banana 状態の変動を物理的に理解することが出来た。

ASTRO-H 衛星による

ワイドバンド、高エネルギー分解能は強力な観測手段

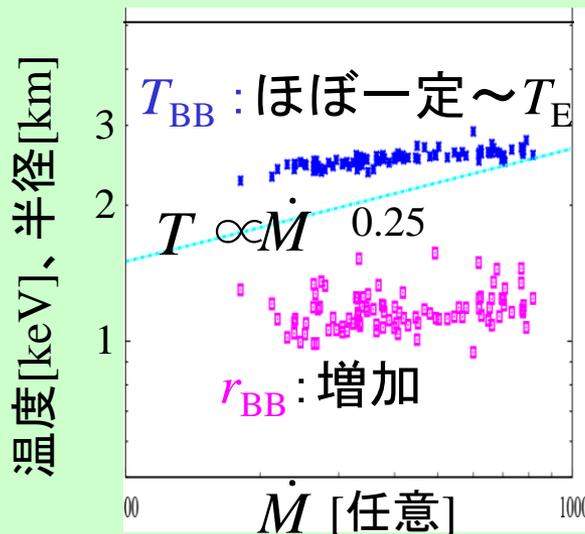
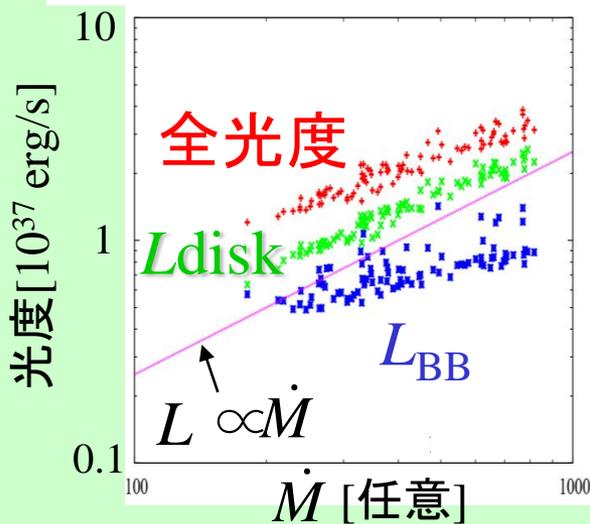
パラメータの変動

➤ MCD

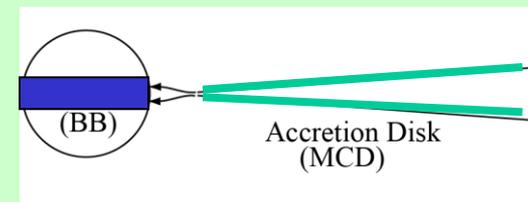


$L_{\text{disk}} \propto \dot{M}$
 r_{in} : ほぼ一定

➤ BB



$r_{\text{BB}} \sim 1-2$ km
 $<$ NS半径 (10 km)



赤道の帯状領域から放射