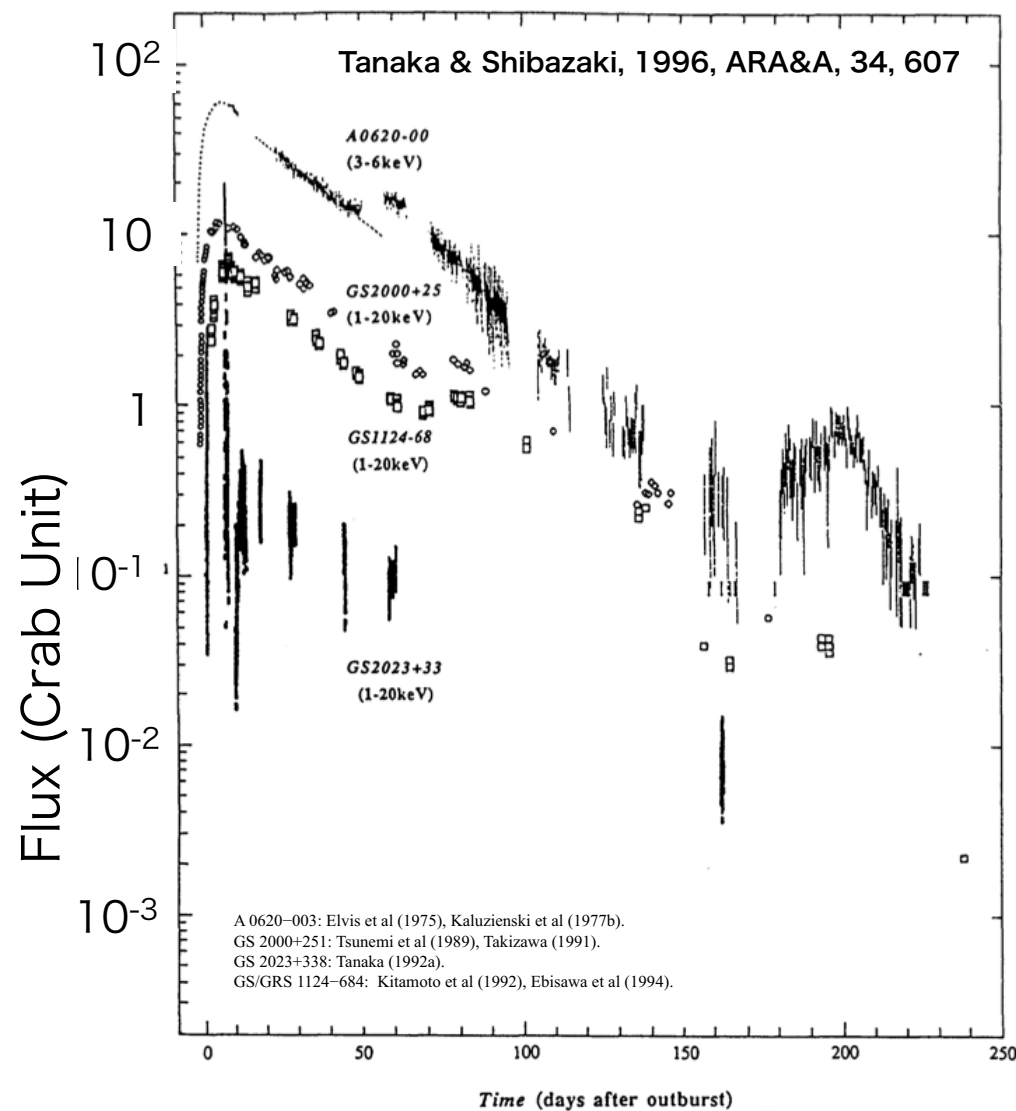


古典X線新星的なMAXI J1910-057の観測

○中平 聡志(JAXA)、根来 均(日大)、志達 めぐみ、松岡 勝、三原 建弘、杉崎 睦 (理研)、上田 佳宏(京大)

PASJ, 66, 84 (arXiv:1406.0613)

BH X線新星



実際にはBH連星トランジェント光度曲線の形状は様々
古典的なX線新星はBH連星トランジェントのサブクラス

A0620-00, GS2000+25,
GS1124-68, GS2023+33

X線新星の特徴:

非常に明るく ($\gg 1$ Crab)、~200日以上継続
直線的な増光と指数関数的な減光
再増光が共通して見られる

明るく、比較的単純な光度曲線。

質量降着率が上がって複雑な変動を示す天体とくらべて、内縁の変動に邪魔されず降着円盤全体の質量フローを調べることができそう。

観測対象: MAXI J1910-057

2012年5月31日に発見された

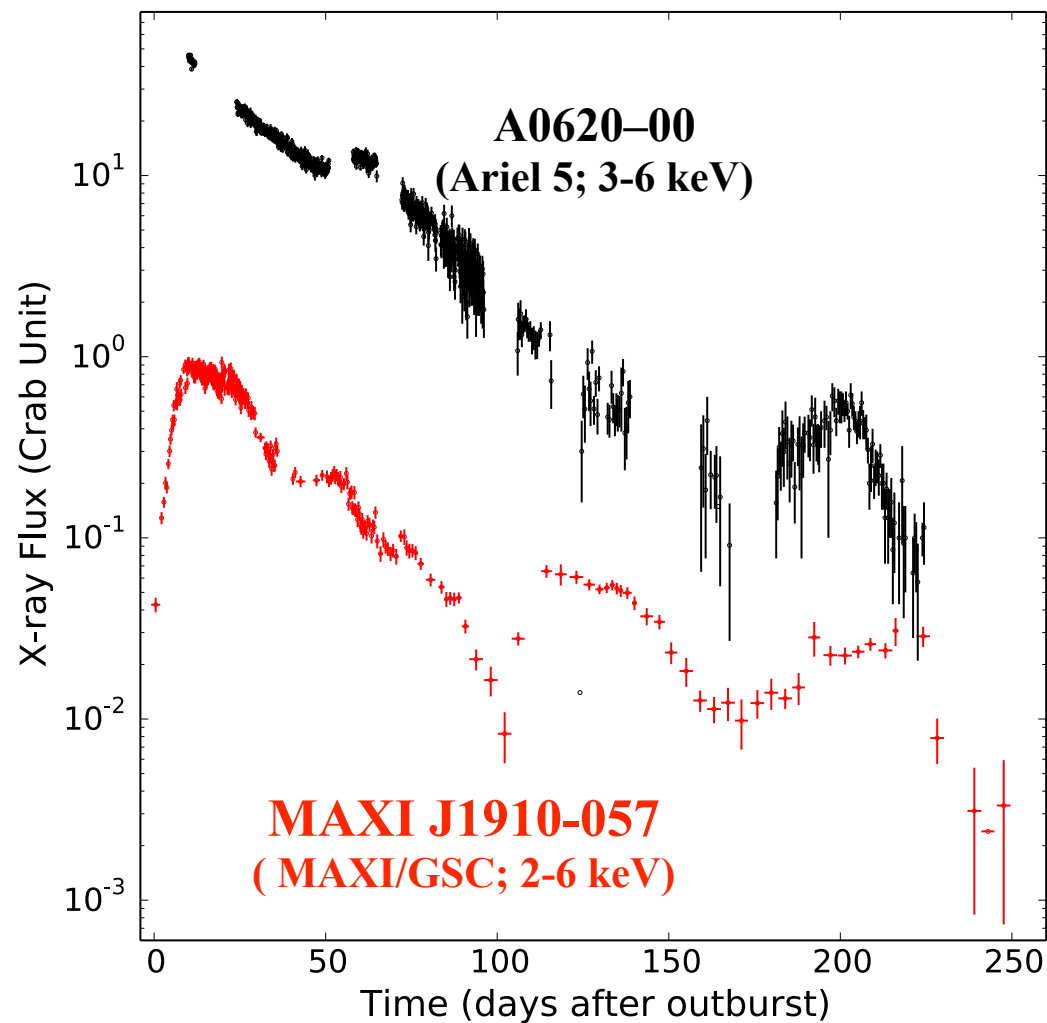
X線トランジェント天体

✓ 質量や距離は正確にはわかっていない

✓ 軌道周期なども不明

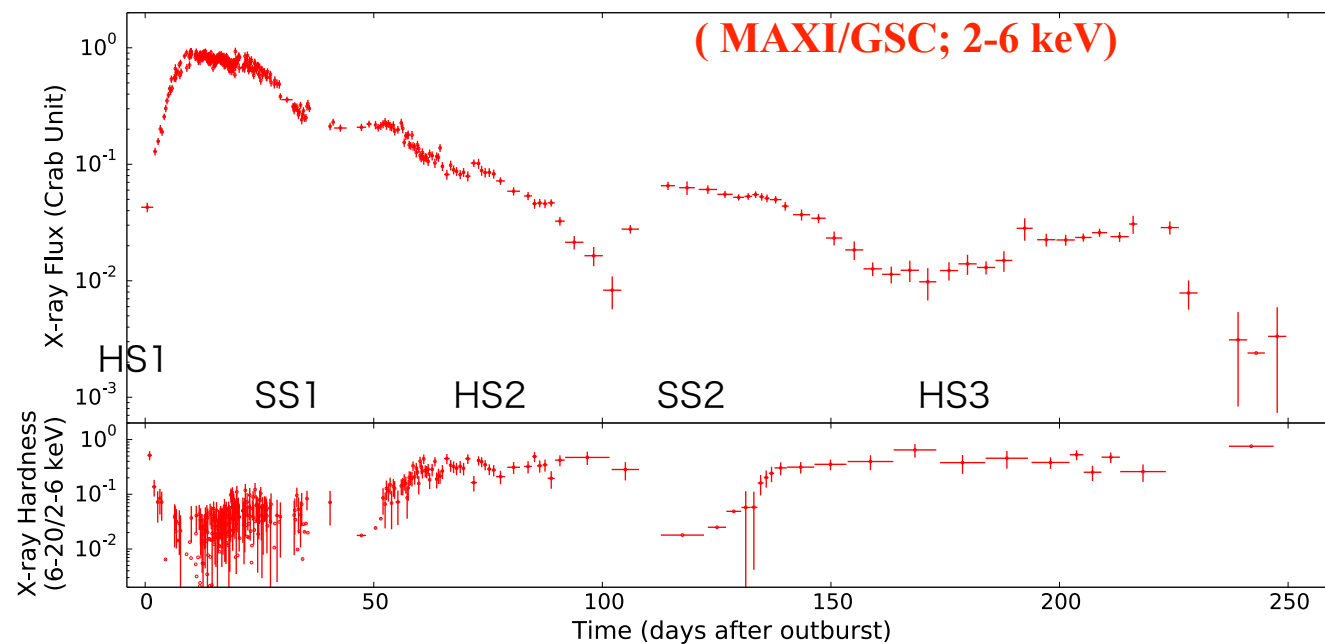
光度曲線の特徴

- ~10d ピーク
以降指数関数的な減光
- 50-60d 小さい増光
- 95d 急激な減光
- 95-140d 大きな増光
- 160-230d ゆっくりと増光
- 230d以降: 急激に減光
- 可視光での弱い活動は1年近くたっても見られた



本研究で使うデータ: MAXI/GSC(2-20 keV) SSC(0.7-7 keV), Swift/XRT (0.3-10 keV)に加え、円盤外側の情報が得られるUVOT(可視・紫外)を使って時間的に高い割合でカバー

X線ハードネス比の推移



通常のブラックホールX線連星と同じく、ハード状態とソフト状態を行き来している。

ハード(HS1)->ソフト(SS1)->ハード(HS2)
->**ソフト(SS2)->ハード(HS3)->終息**

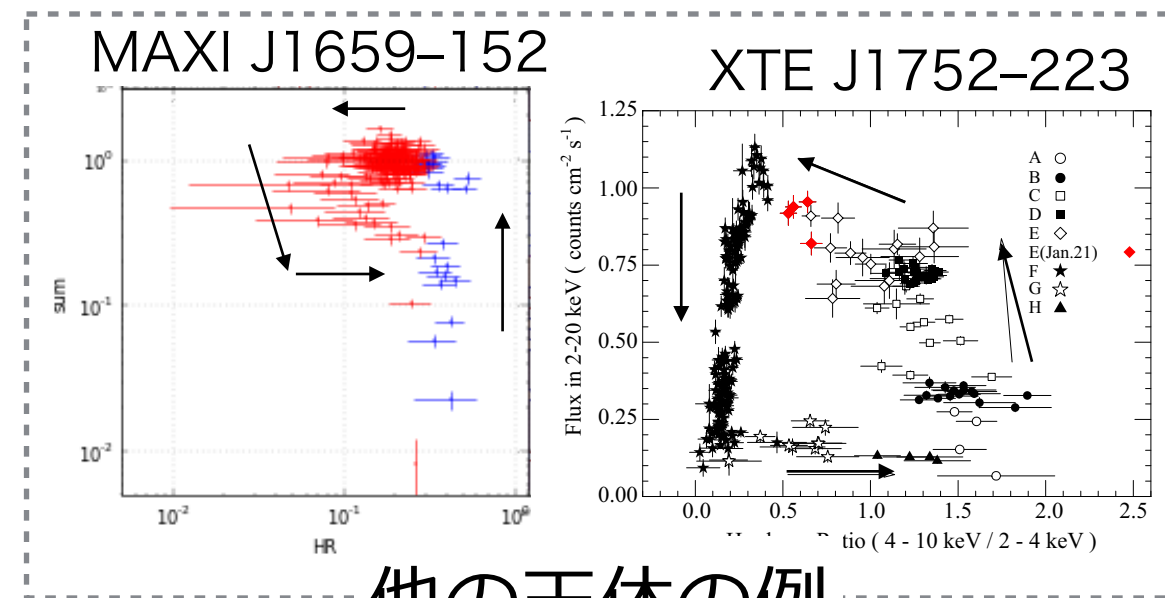
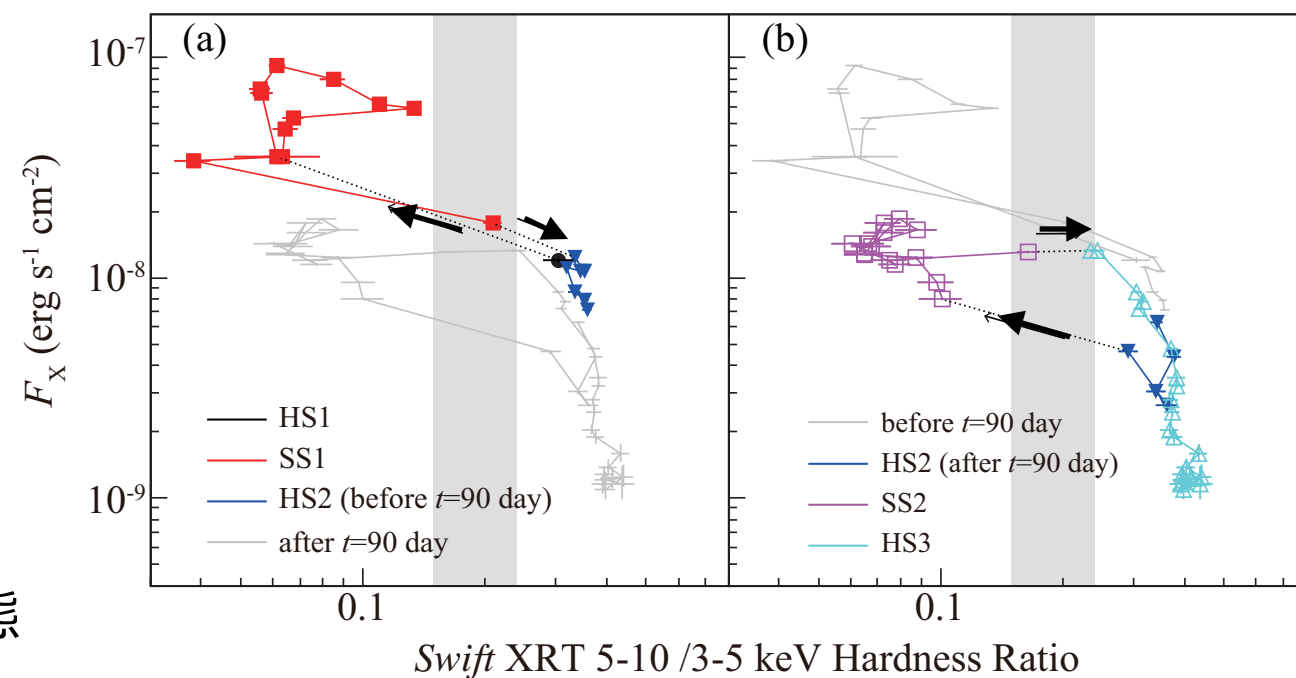
120dをピークとする増光の際にはソフト状態になっていて、2度遷移するのは珍しい

1度目のH-to-S、S-to-Hの遷移光度は同じ

2度目のH-to-SはS-toHより暗い

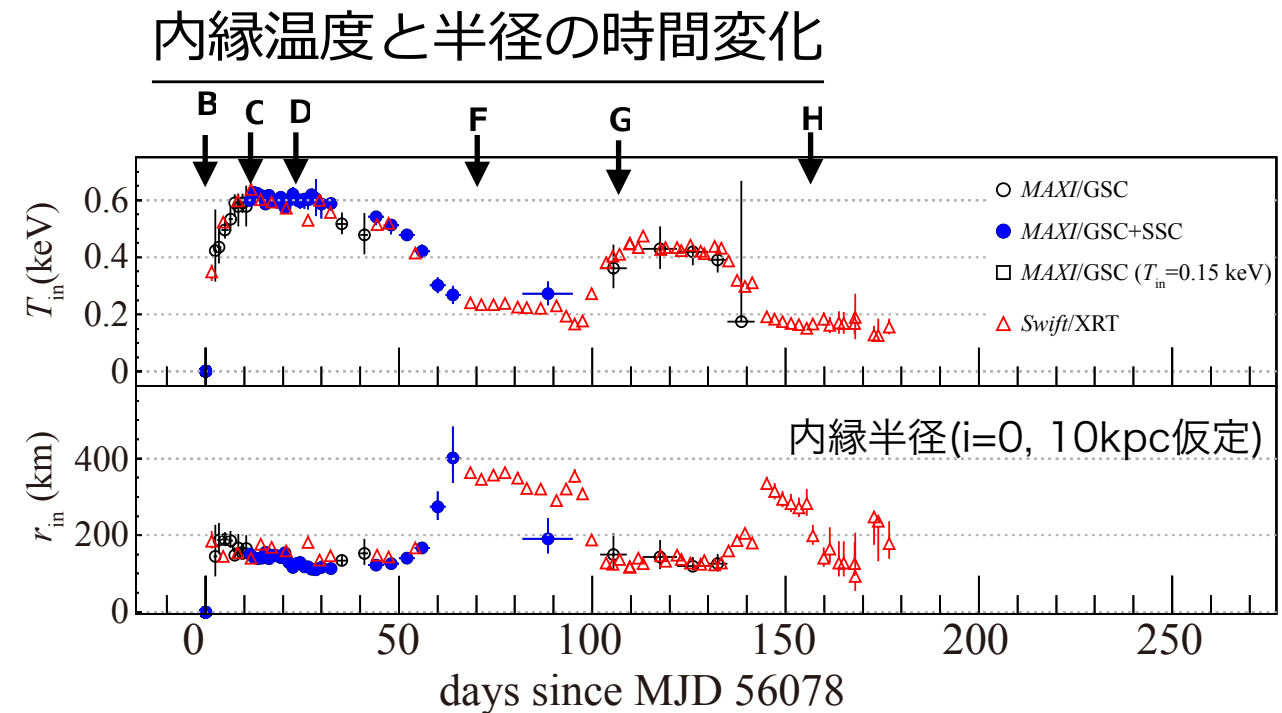
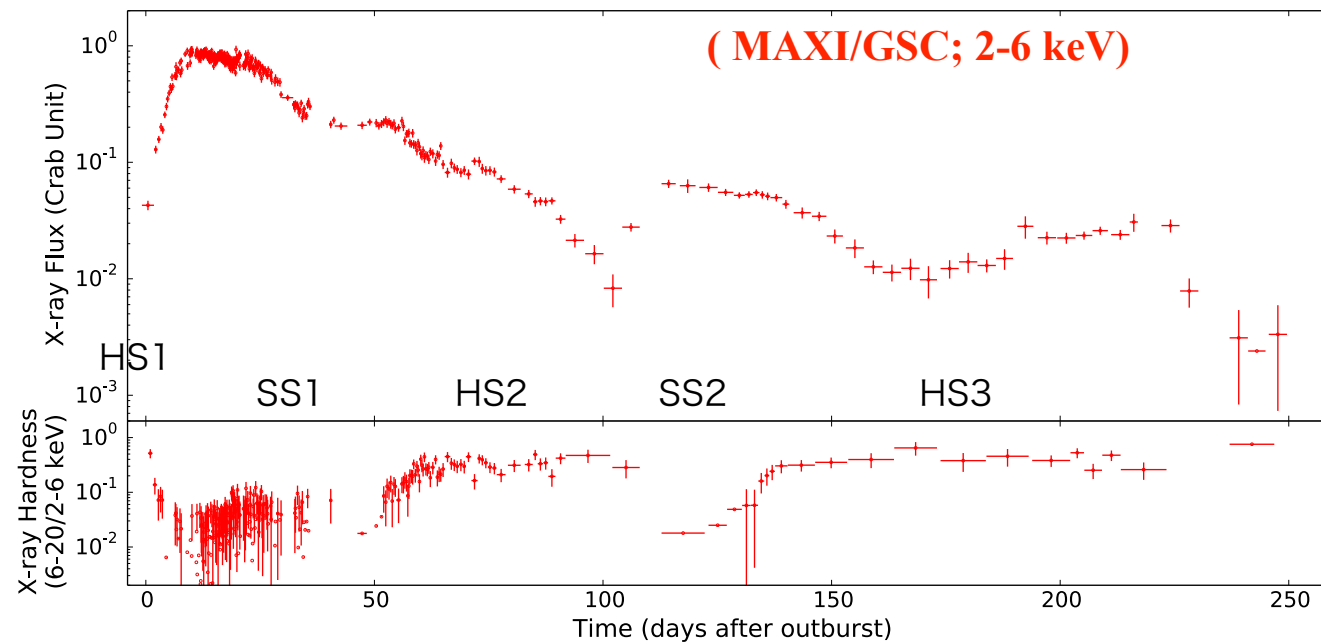
2回のH-to-Sの光度は同程度

MAXIJ1910 ハードネスとX線フラックス



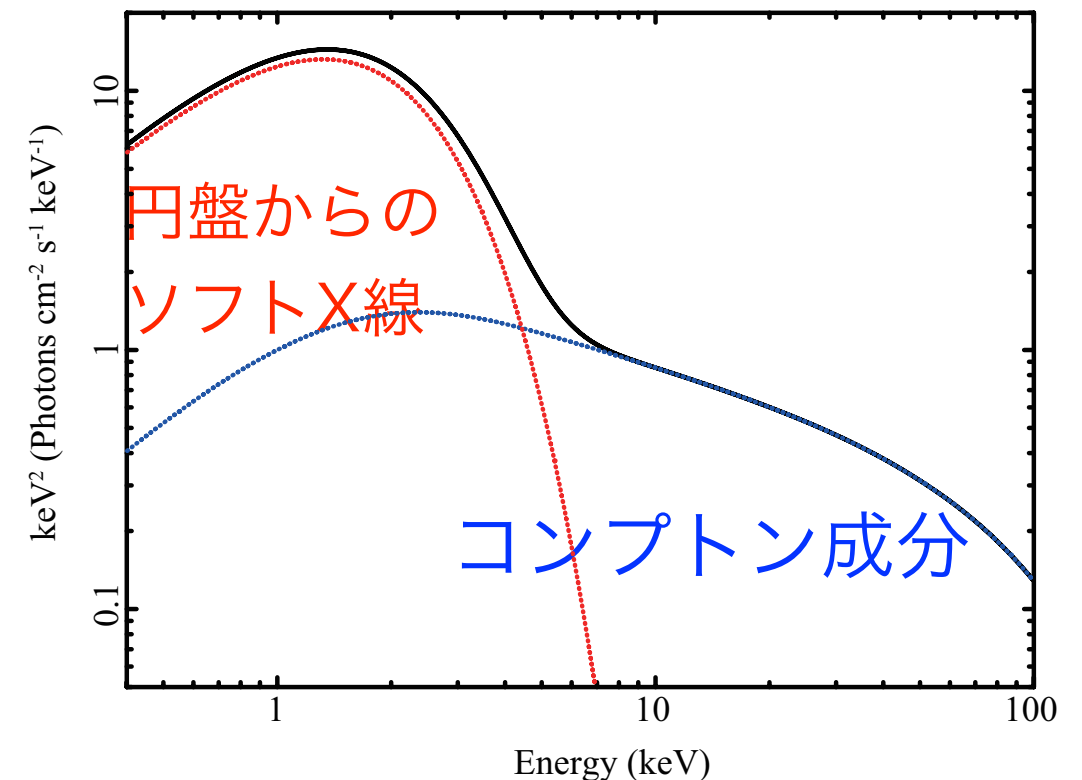
他の天体の例

降着円盤内縁の温度と半径

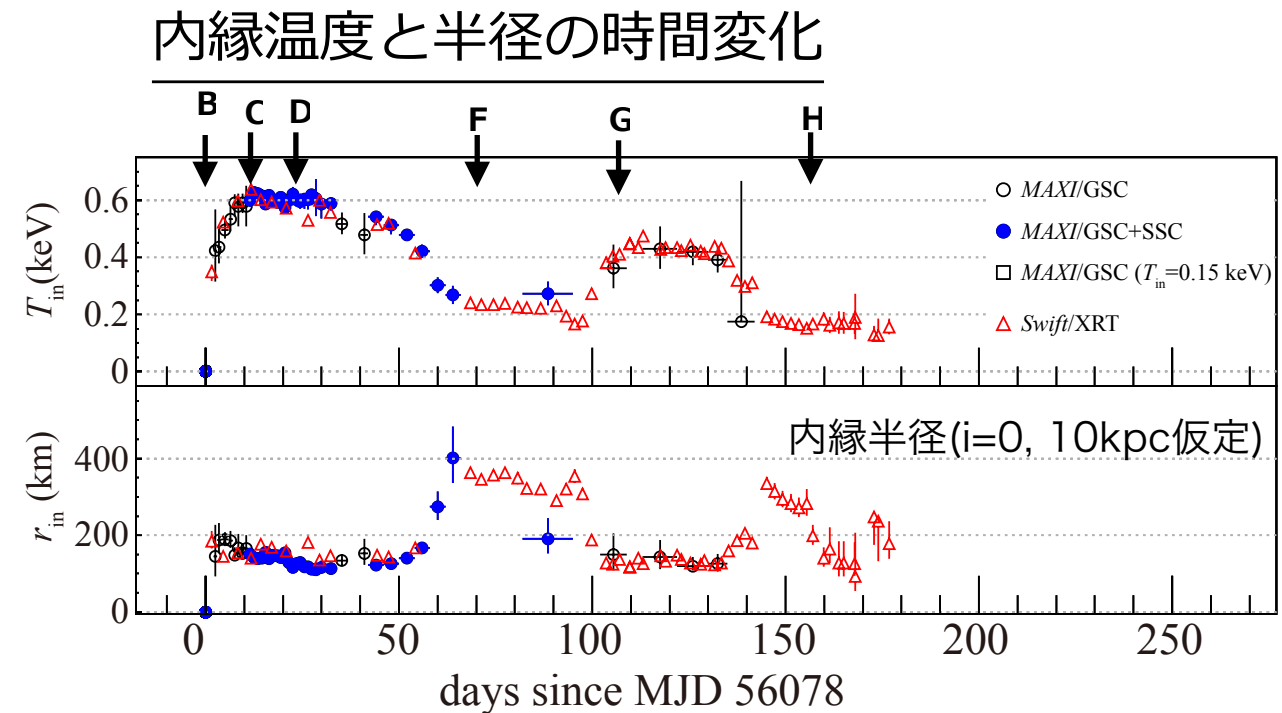
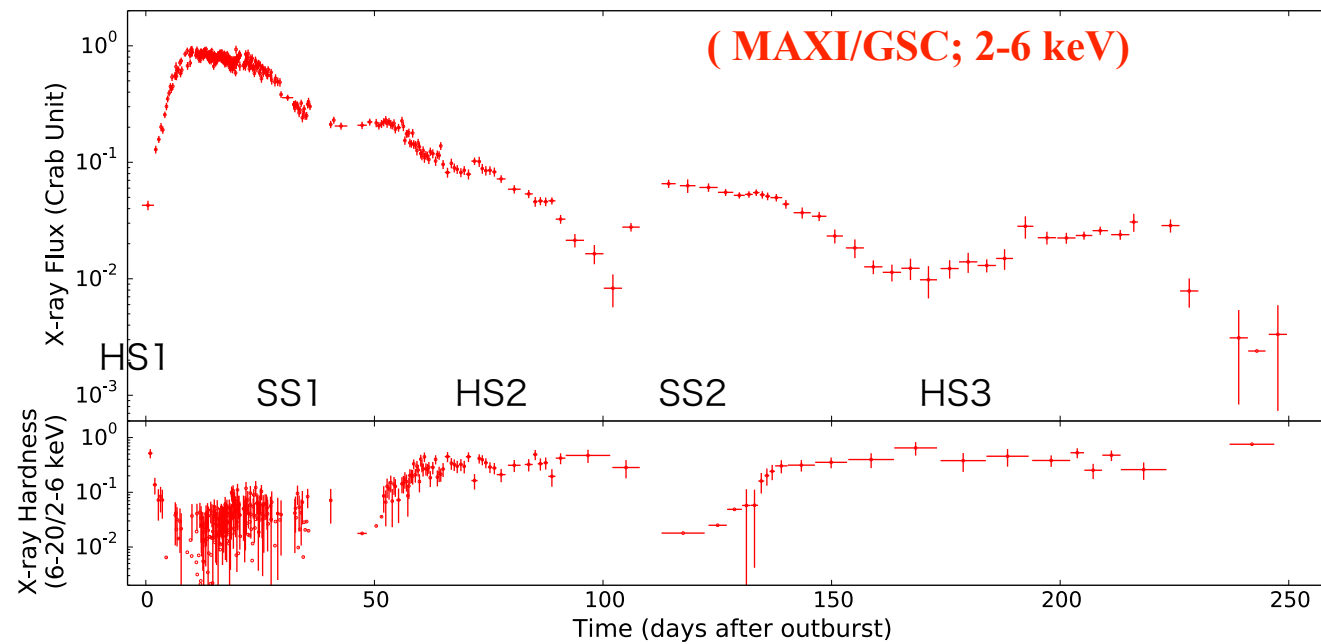


BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

- ✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定
- ✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、
- ✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径
- ✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光
- ✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径

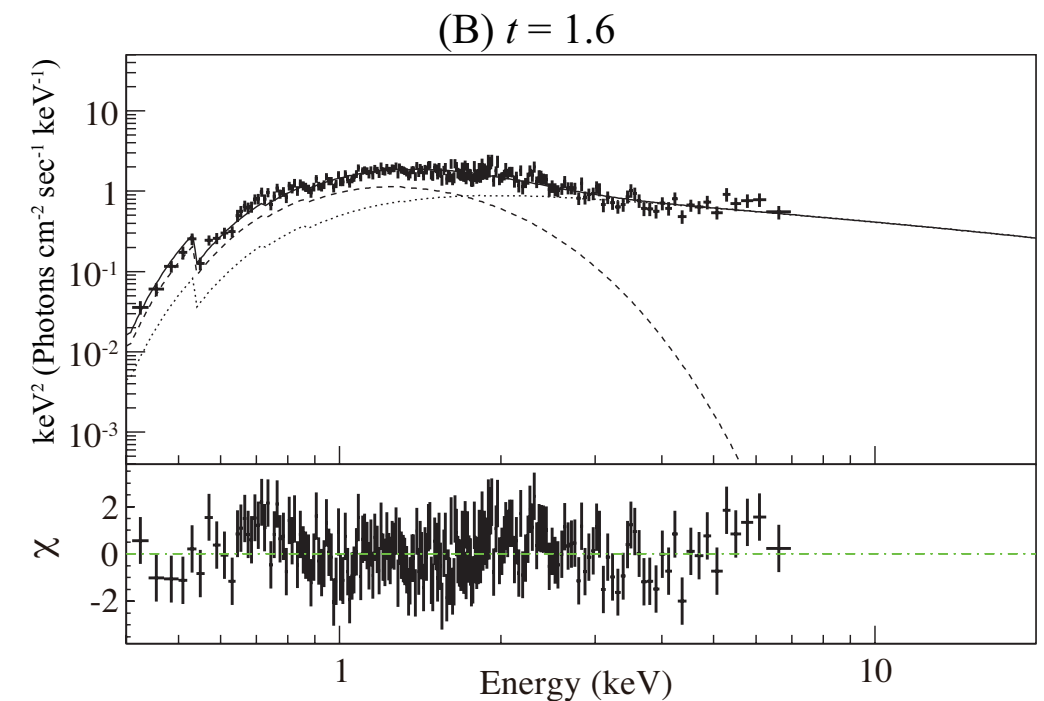


降着円盤内縁の温度と半径

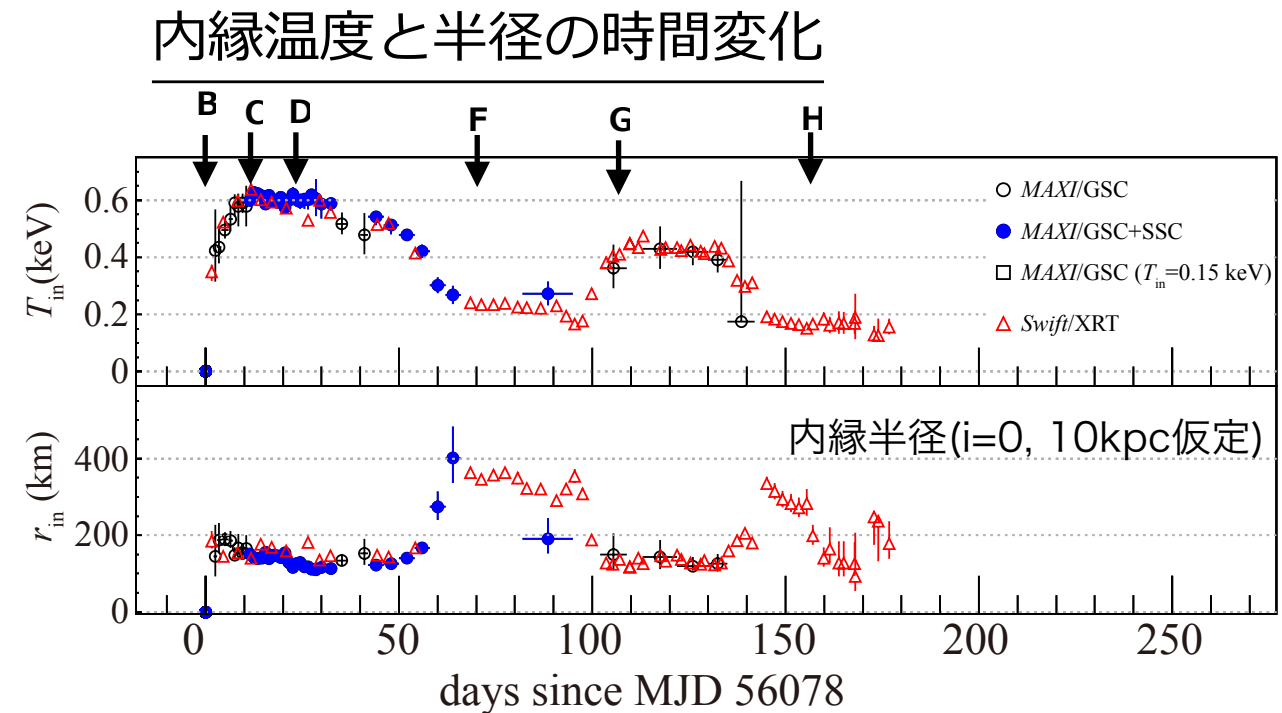
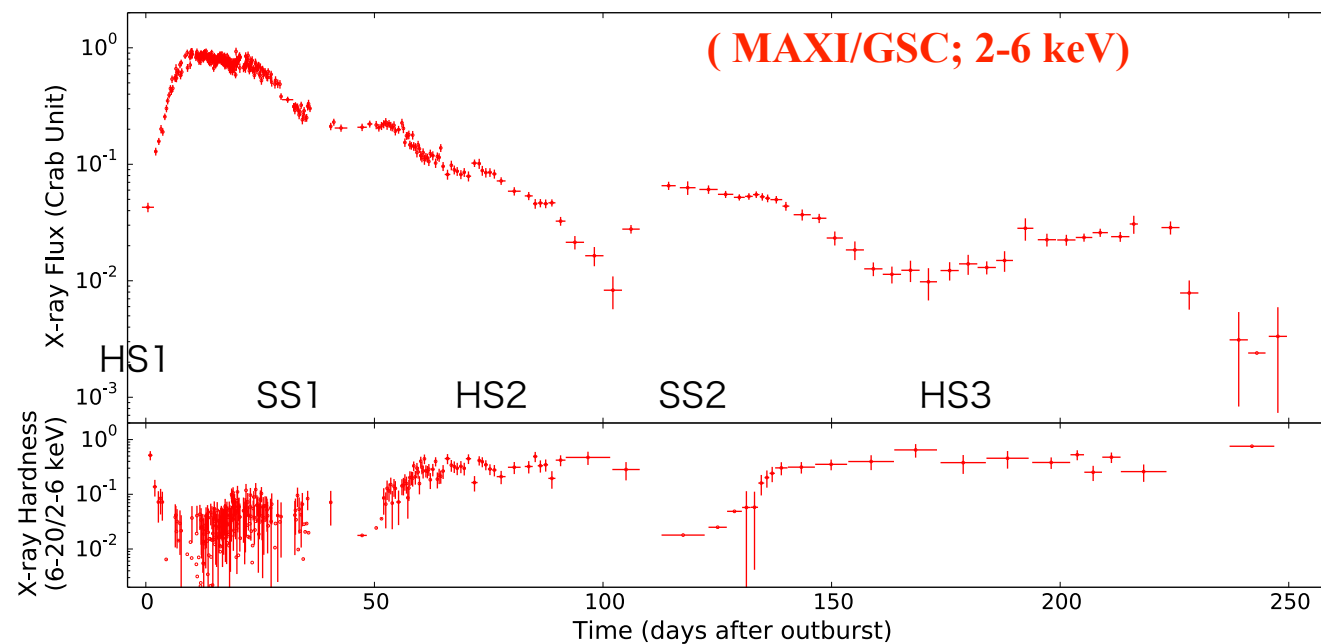


BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

- ✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定
- ✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、
- ✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径
- ✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光
- ✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径



降着円盤内縁の温度と半径



BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

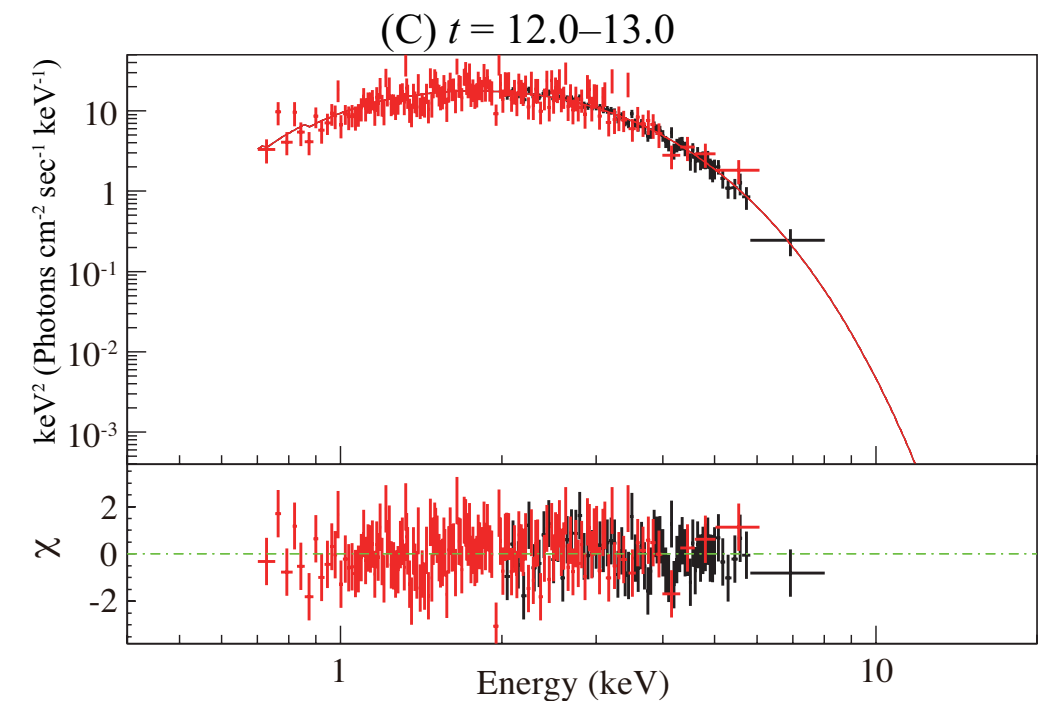
✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定

✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、

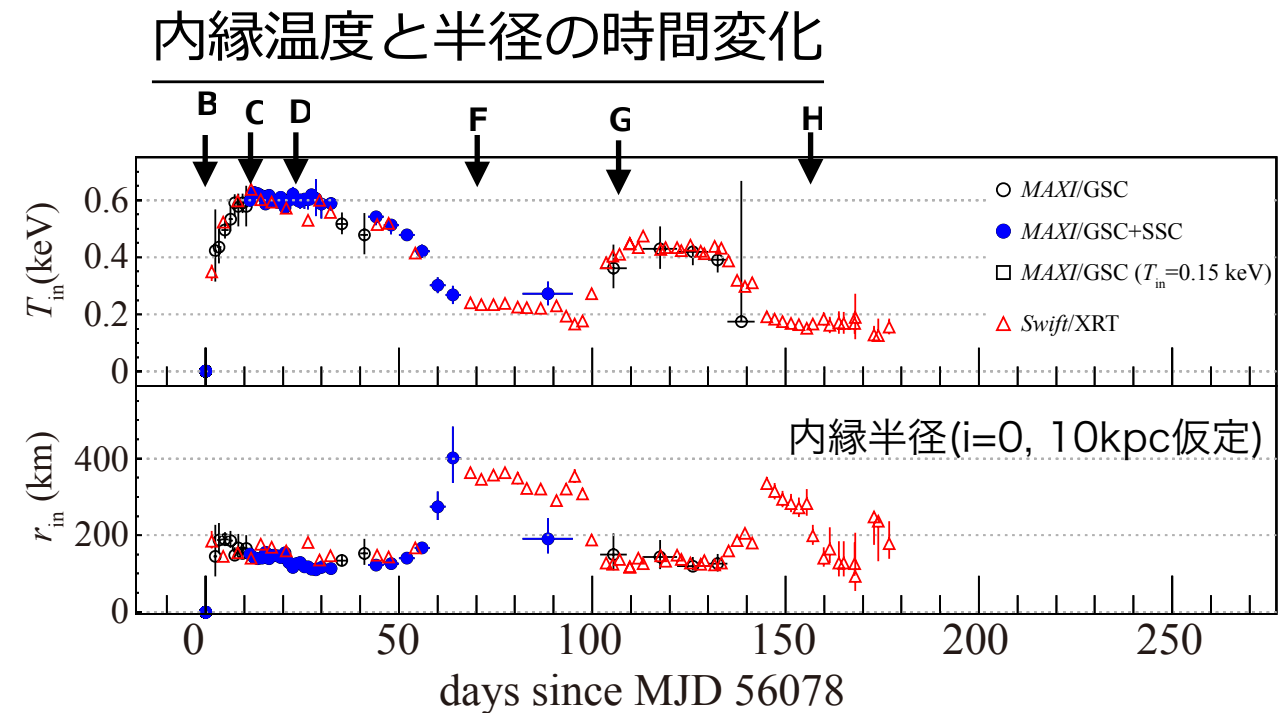
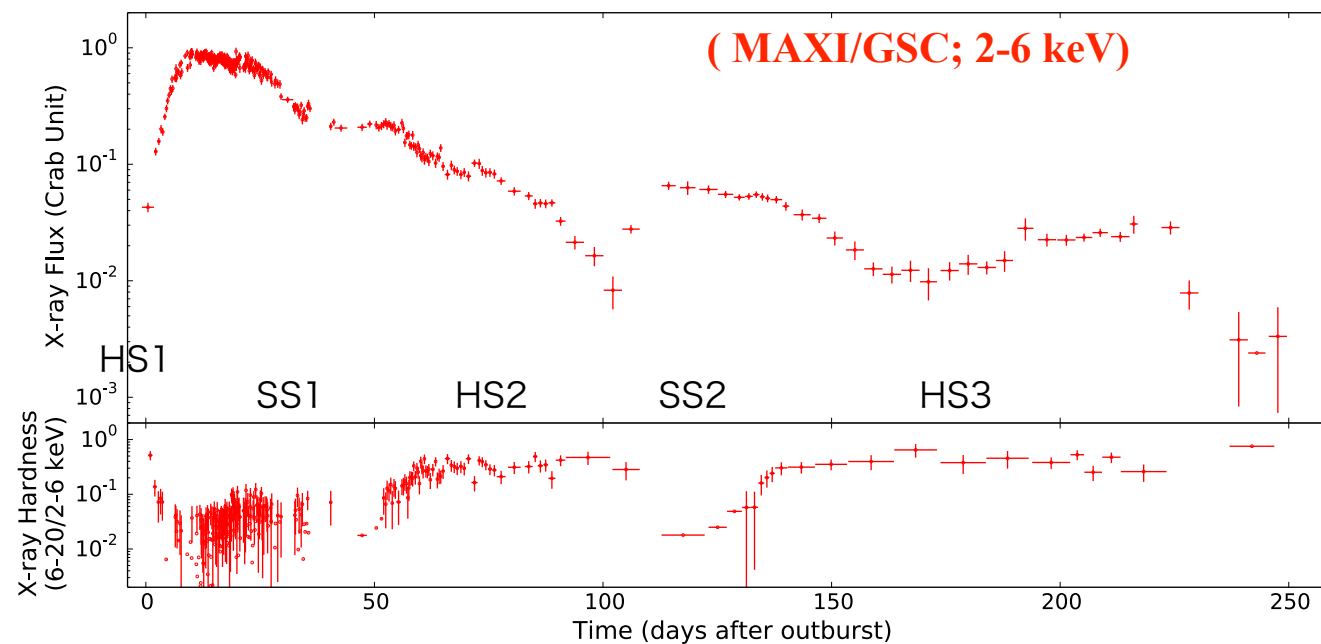
✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径

✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光

✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径

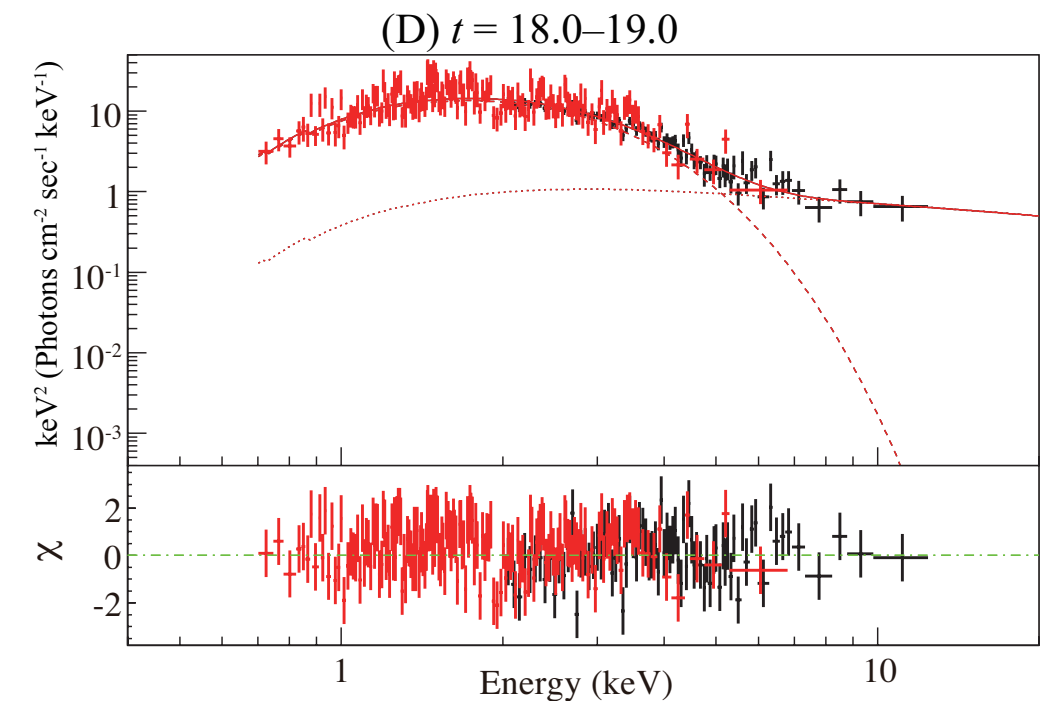


降着円盤内縁の温度と半径

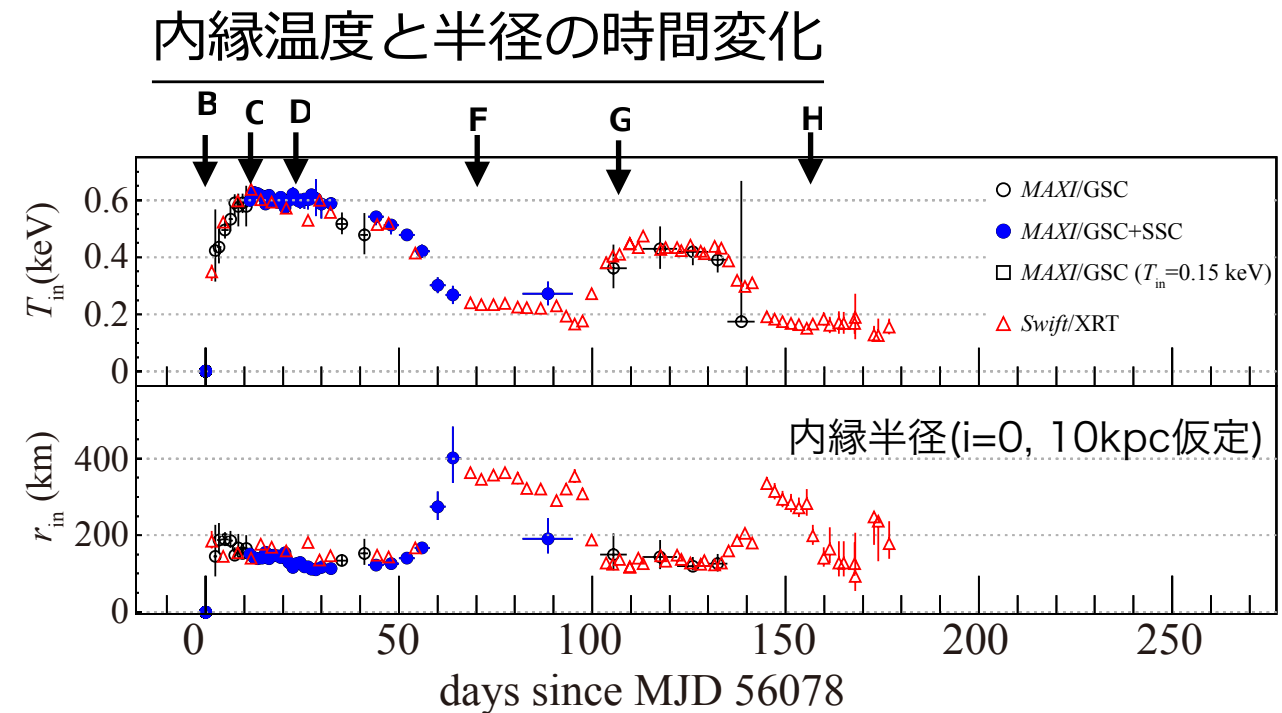
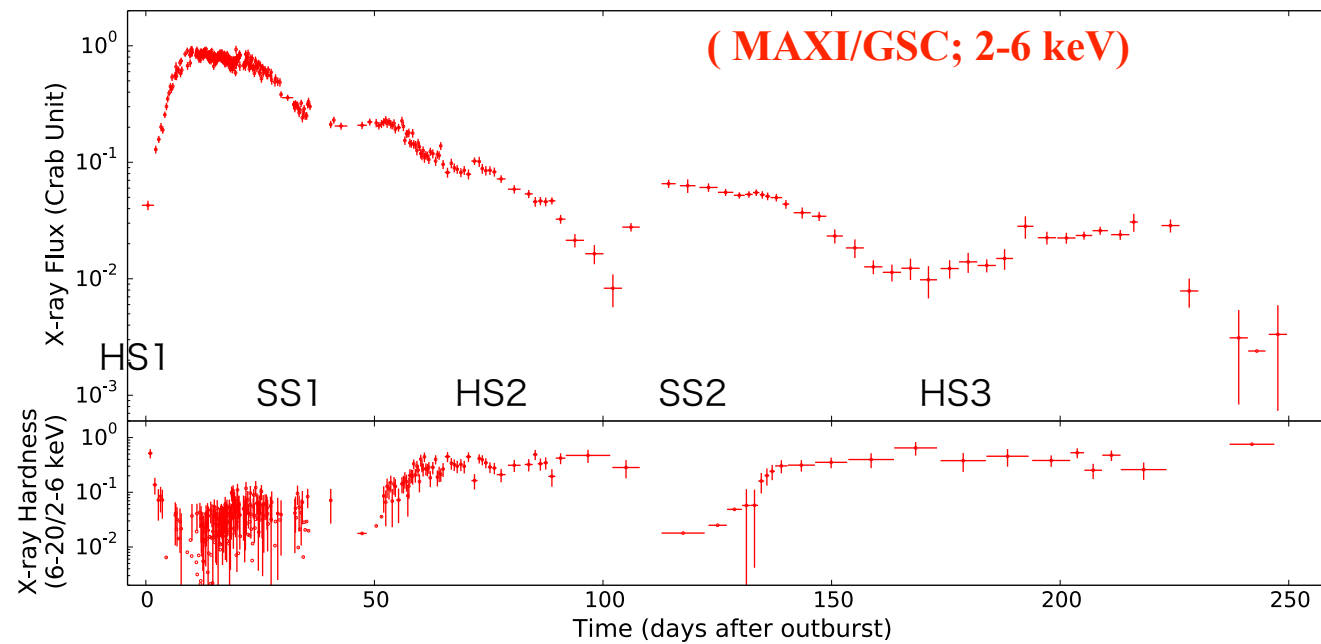


BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

- ✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定
- ✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、
- ✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径
- ✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光
- ✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径

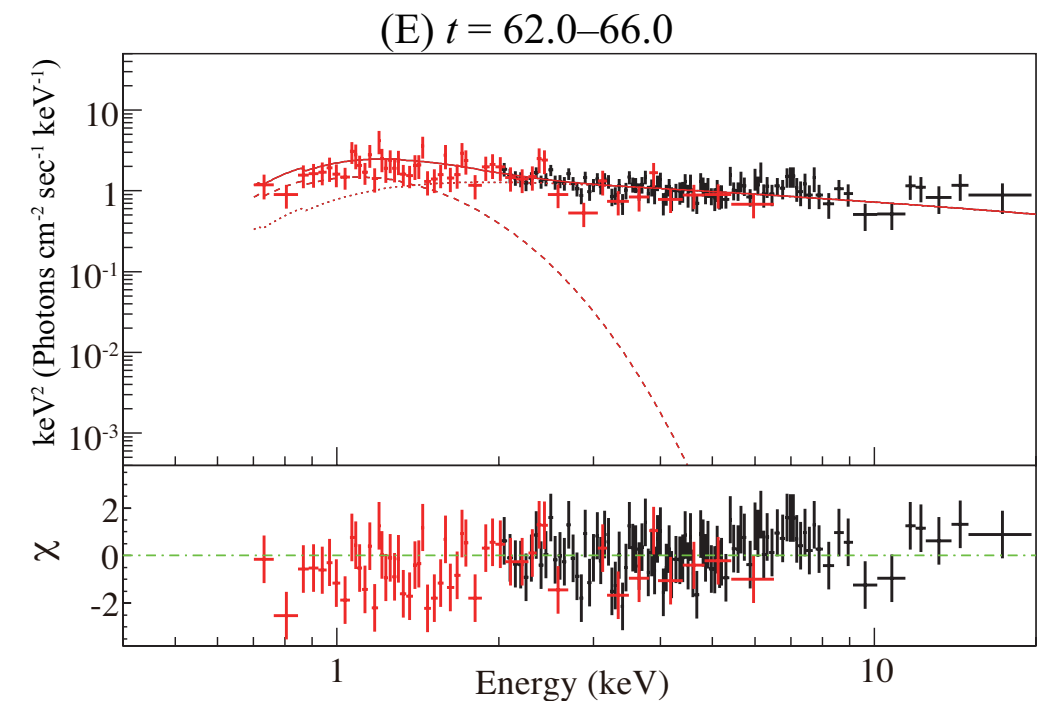


降着円盤内縁の温度と半径

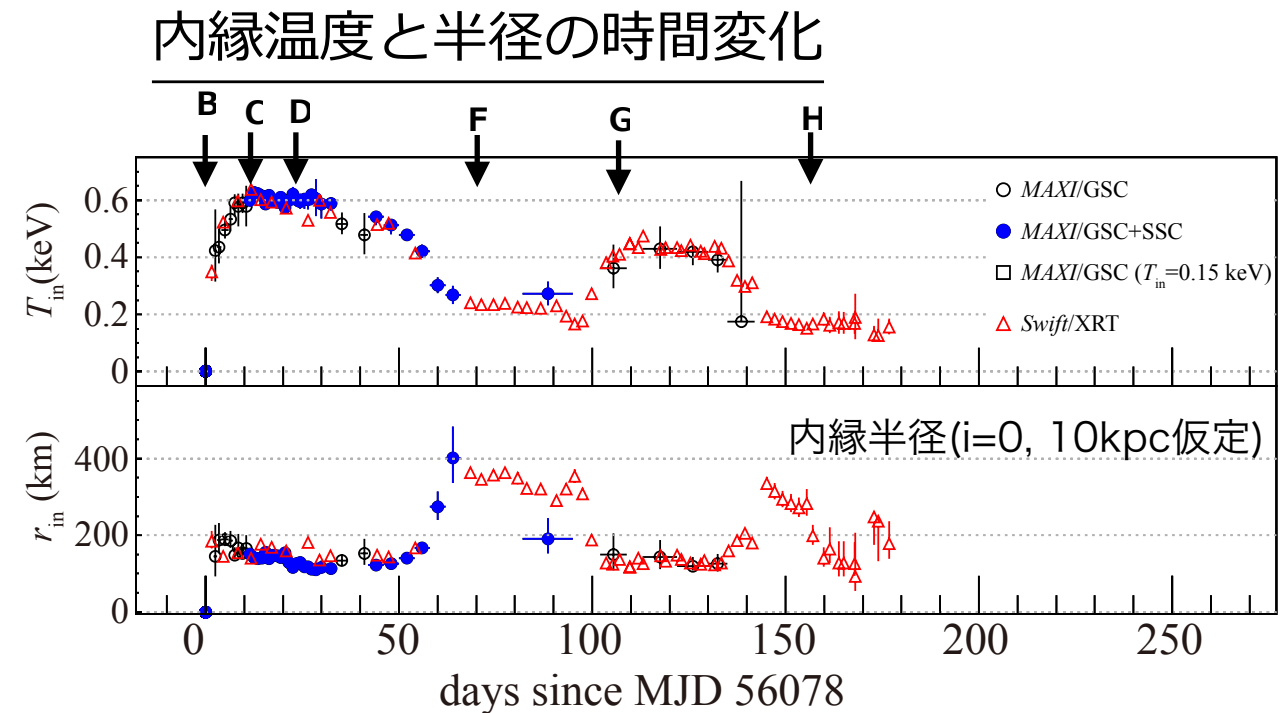
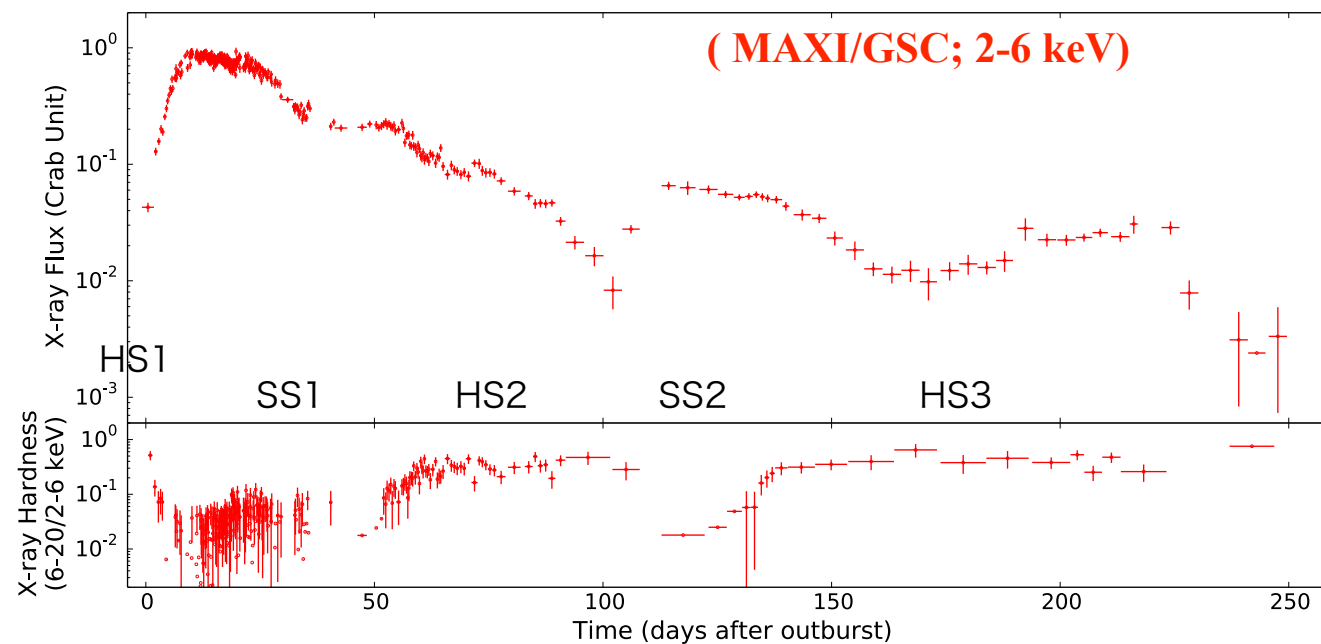


BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

- ✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定
- ✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、
- ✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径
- ✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光
- ✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径



降着円盤内縁の温度と半径



BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

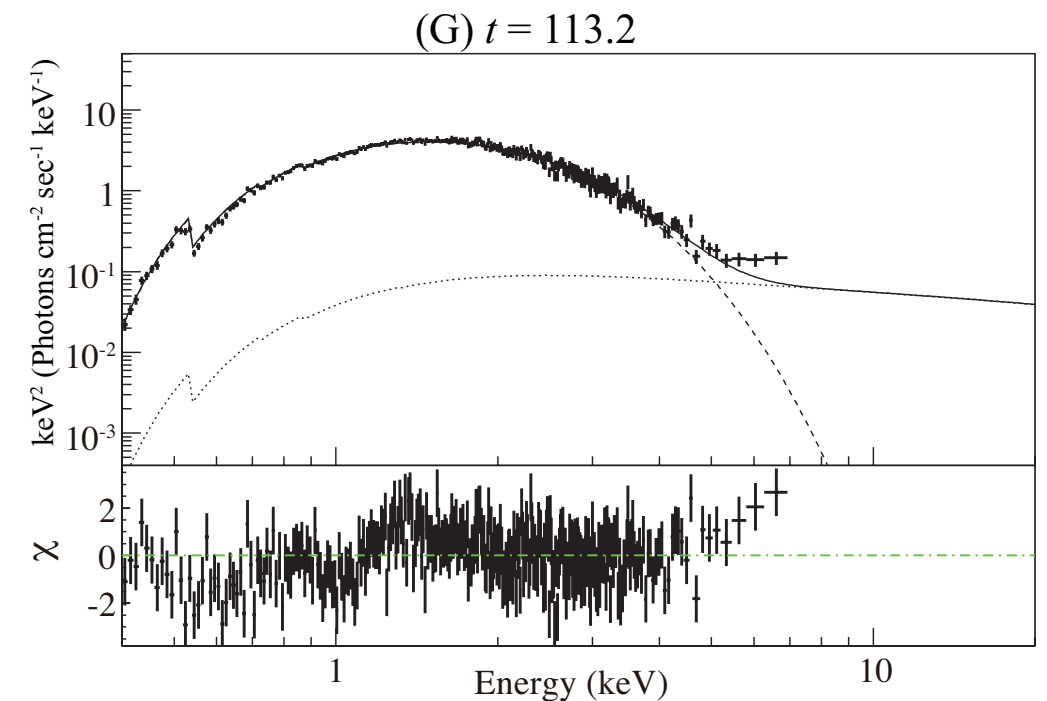
✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定

✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、

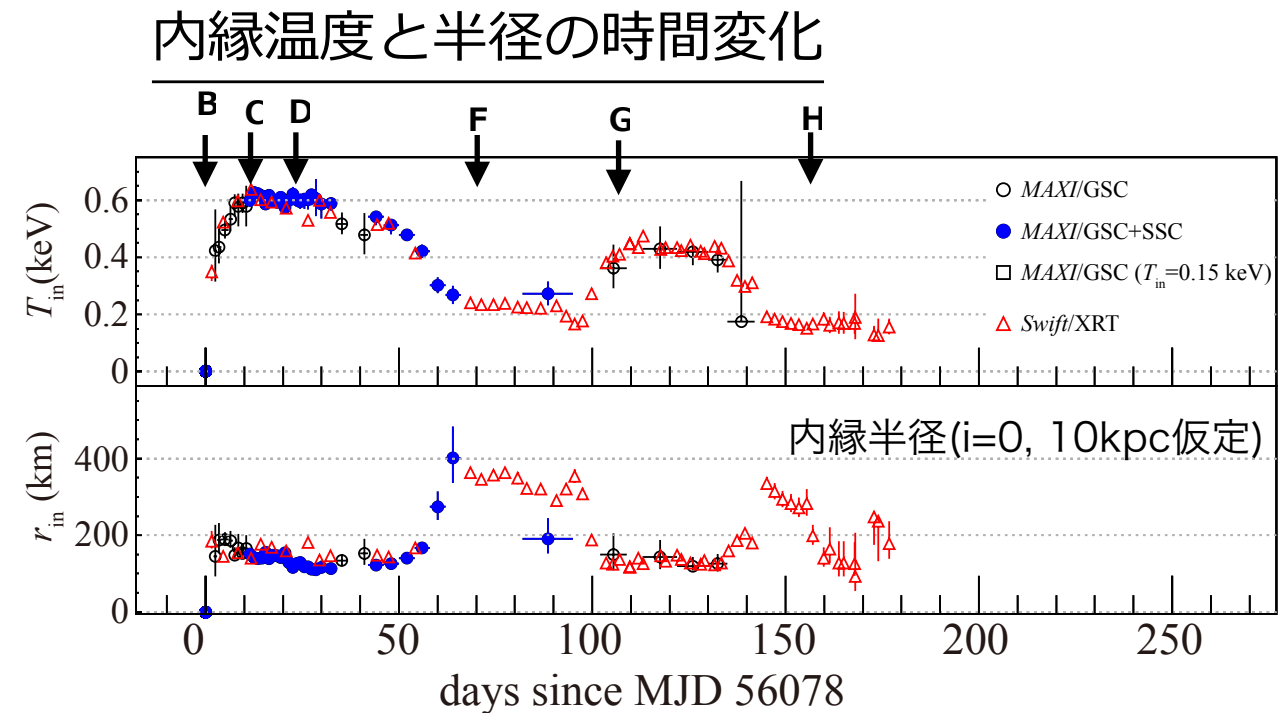
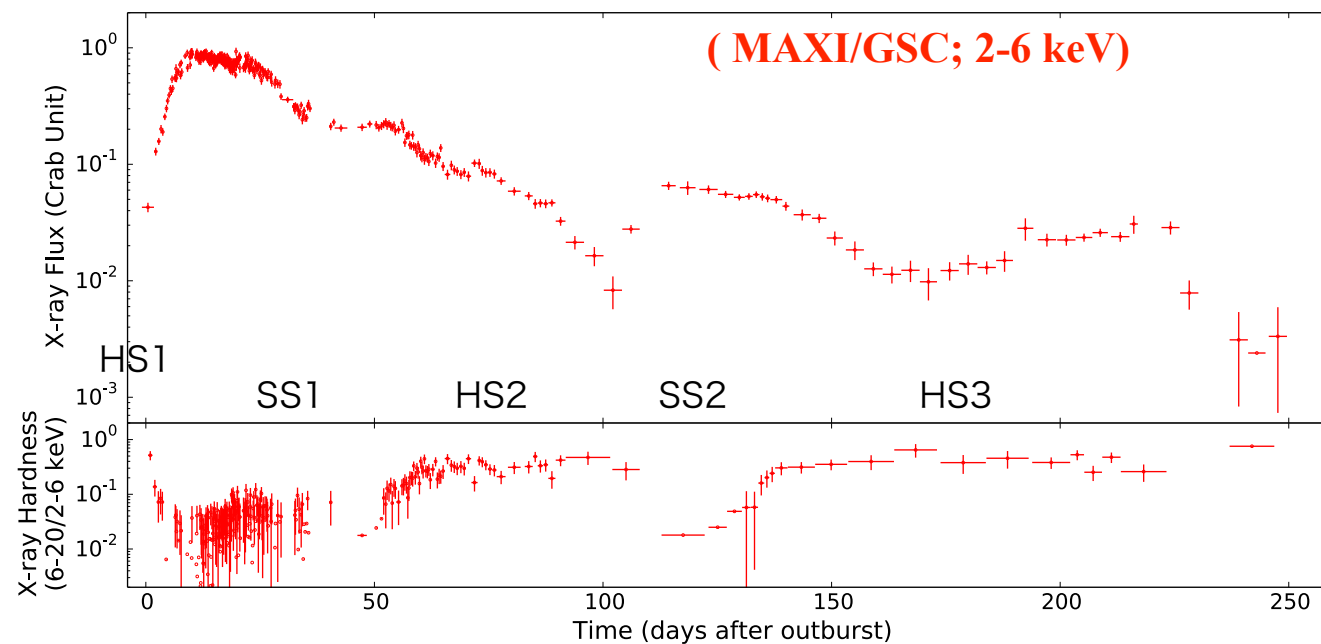
✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径

✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光

✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径



降着円盤内縁の温度と半径



BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

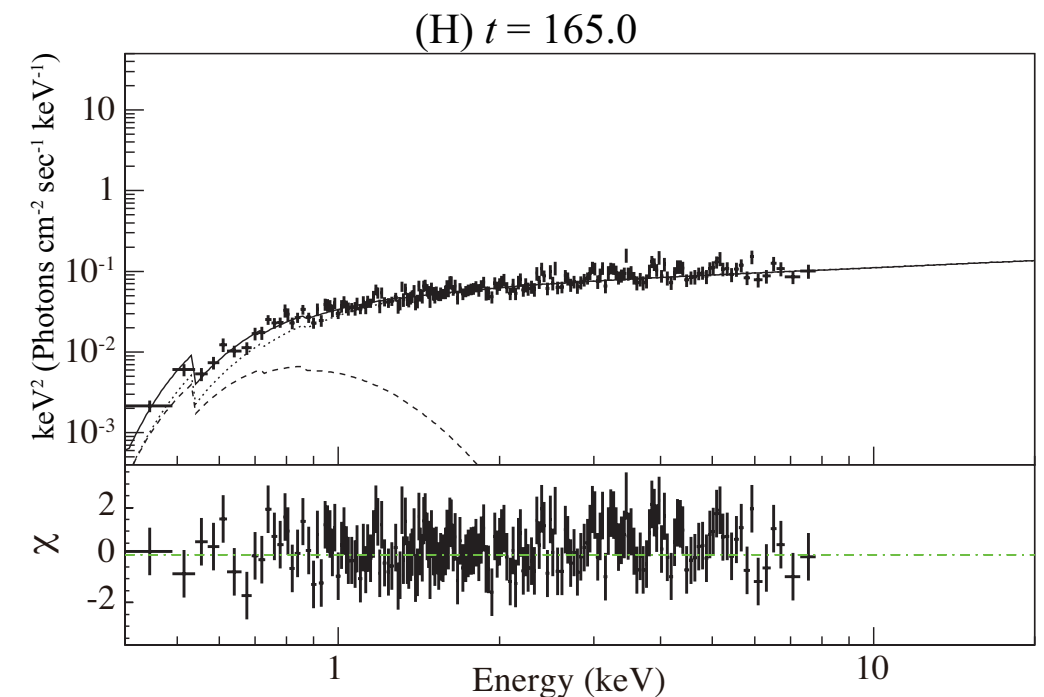
✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定

✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、

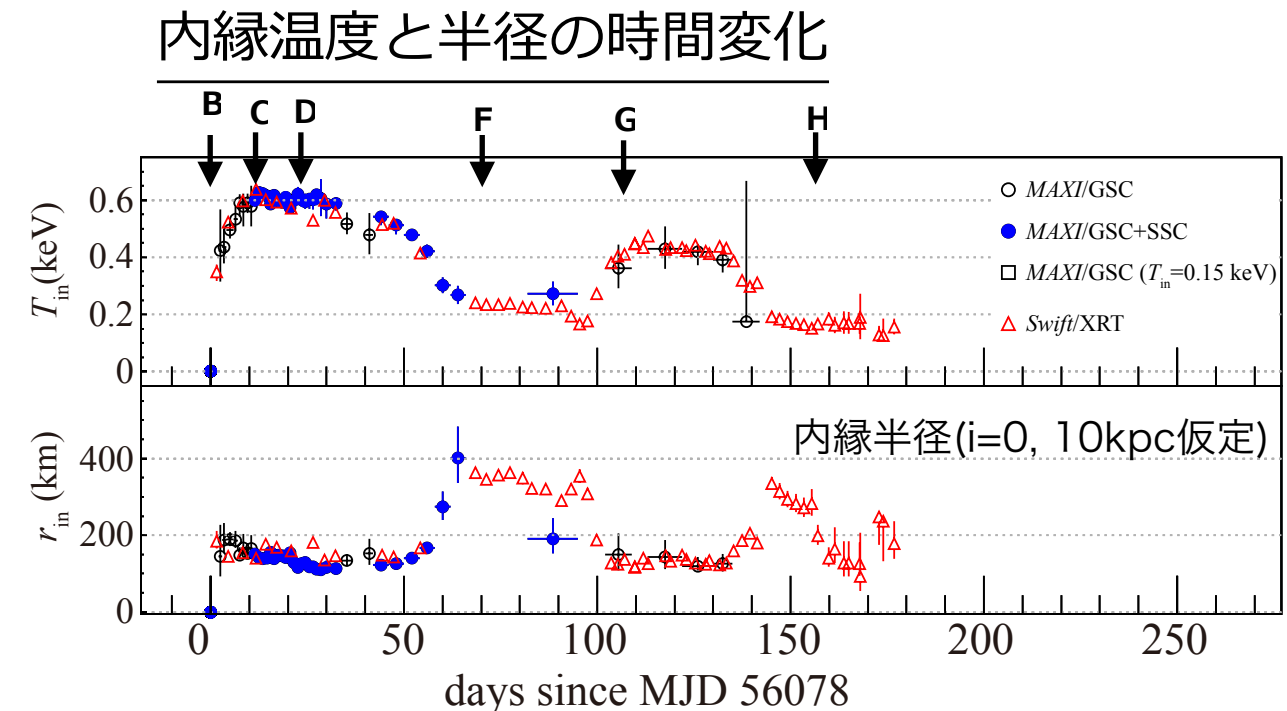
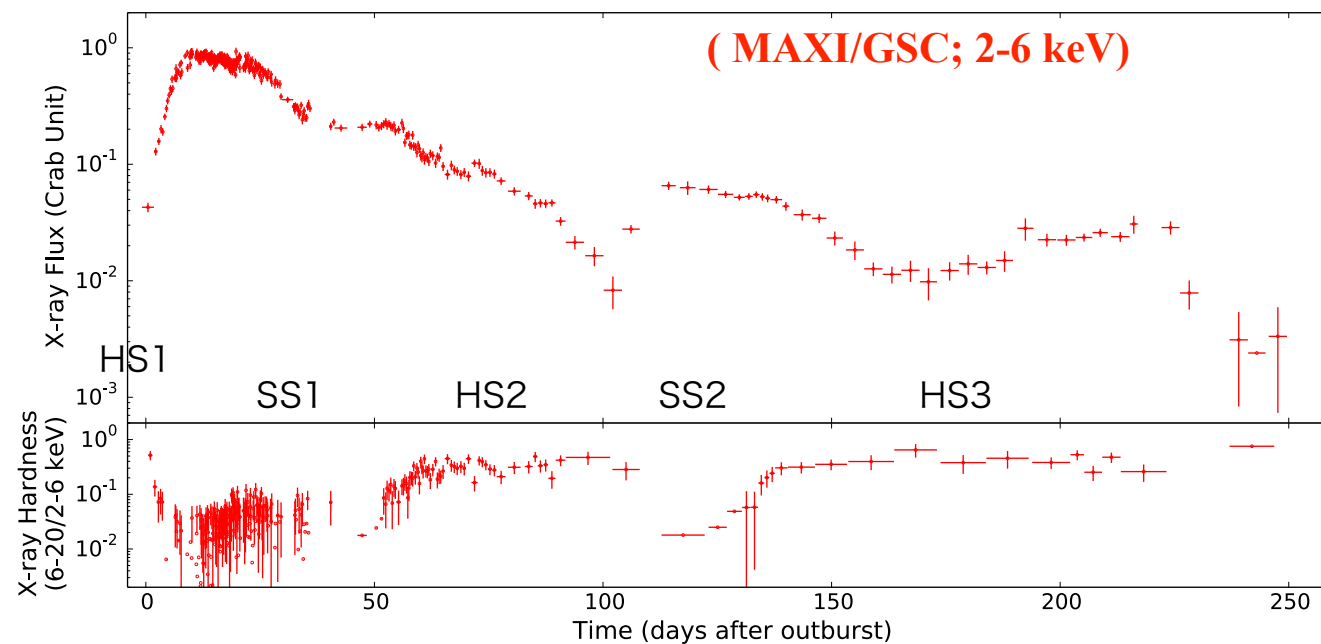
✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径

✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光

✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径



降着円盤内縁の温度と半径



BHを想定した単純なモデル: 「標準降着円盤からの多温度黒体輻射」とその「高温コロナによる熱的コンプトン」モデルを使って解析

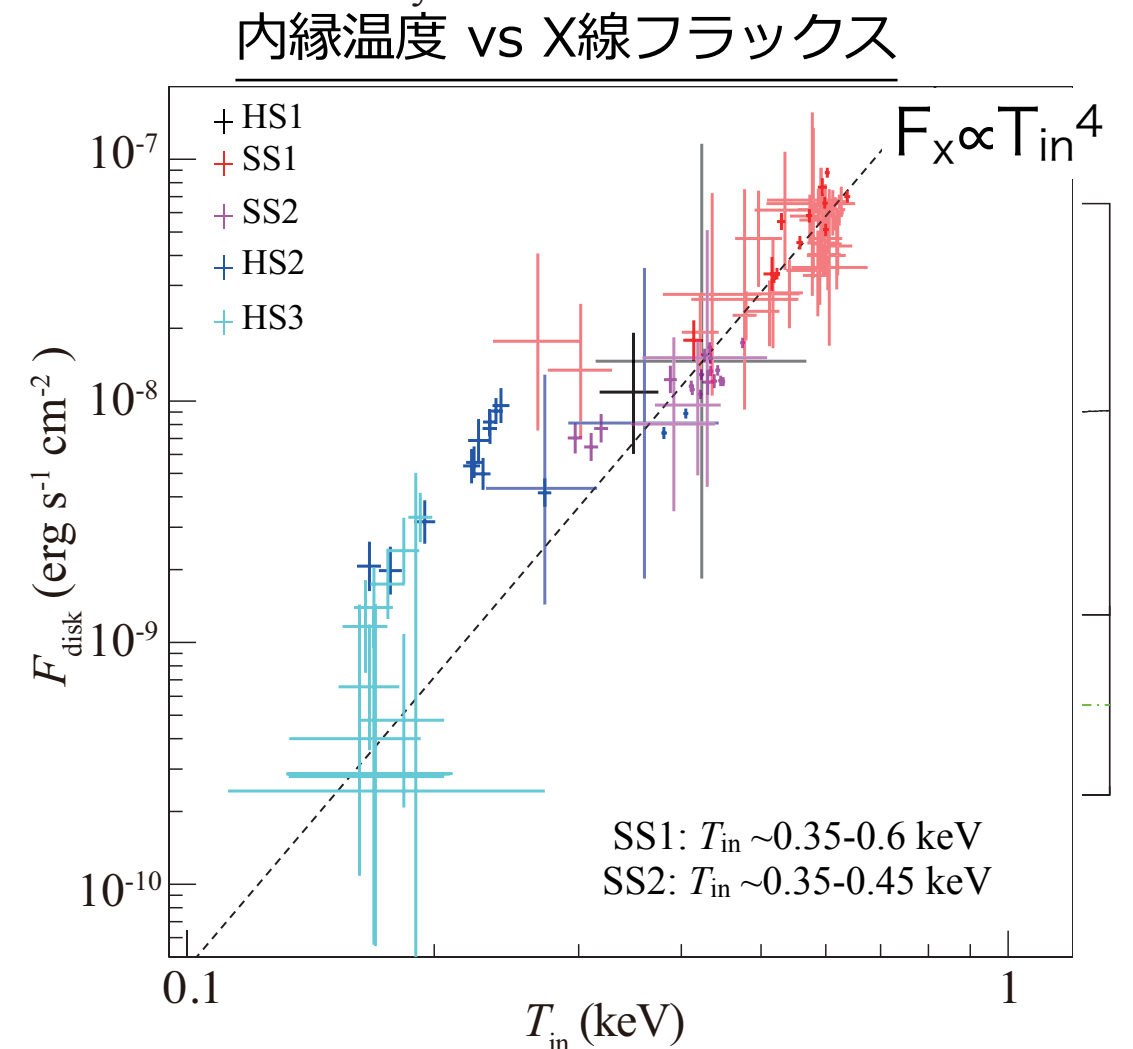
✓ 1-50dはソフト状態で内縁半径一定

✓ -55d以降に温度が急に下がり始め、

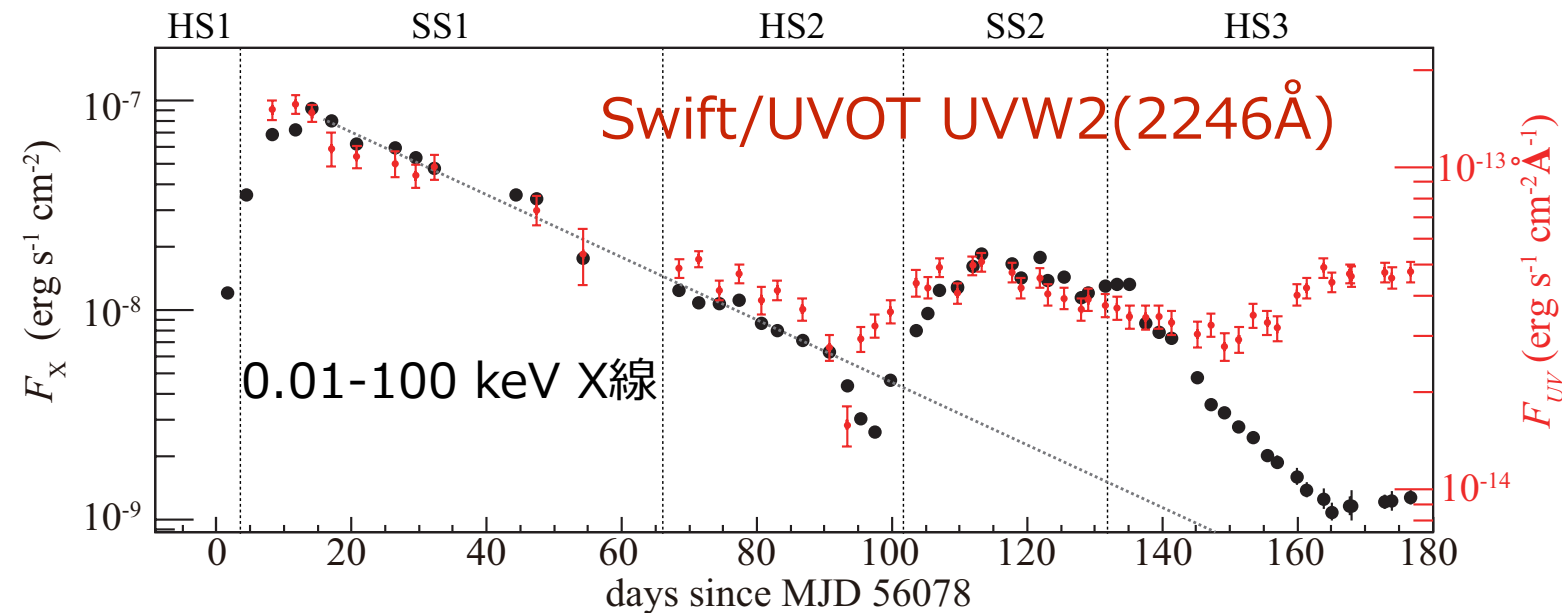
✓ ~60d以降のハードな状態でも円盤成分は検出されていて、2-3倍の半径

✓ ~95dに温度が一瞬下がりその増光

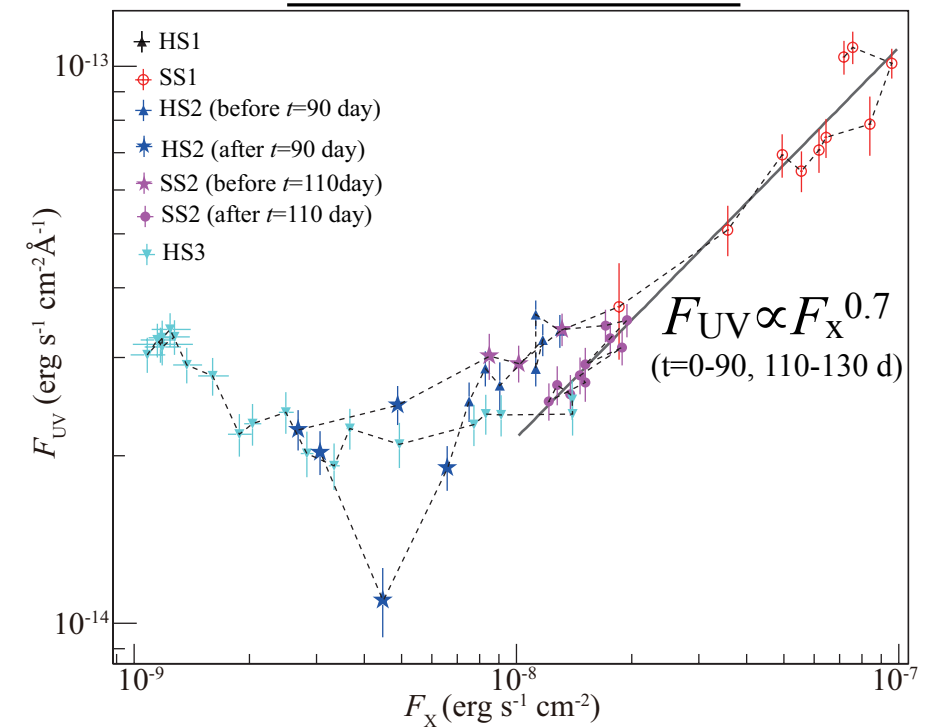
✓ 再増光時は前半と同程度の内縁半径



X線と可視紫外線の相関



X線とUVの相関



Swift/UVOTの光度曲線を重ね書き

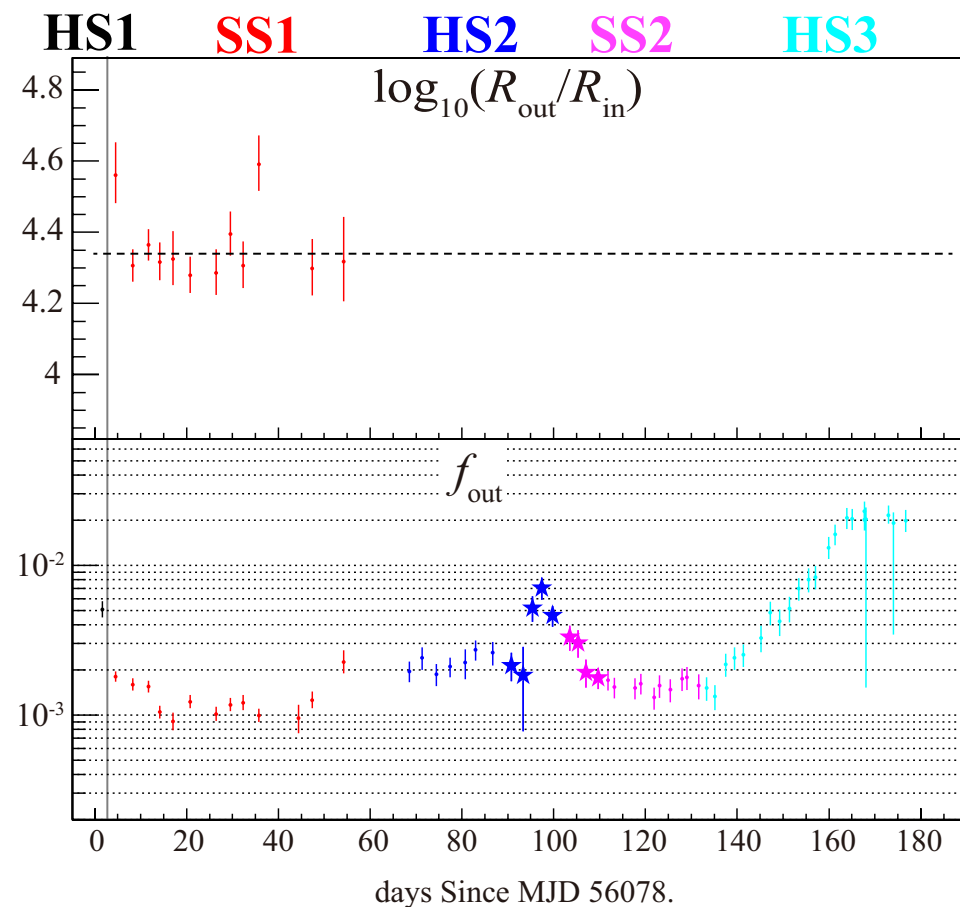
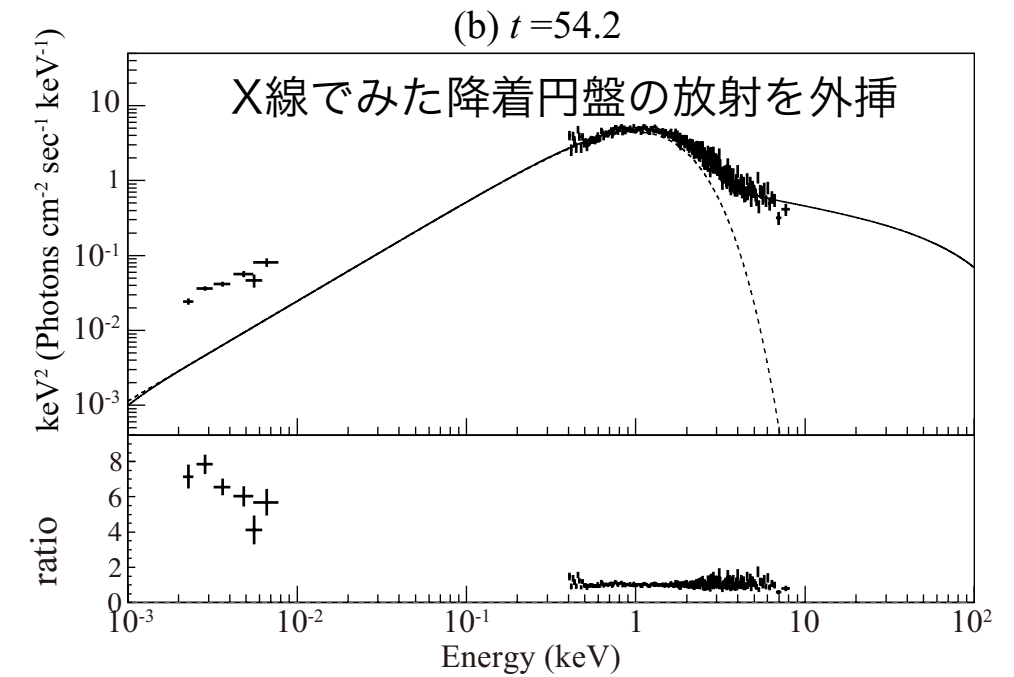
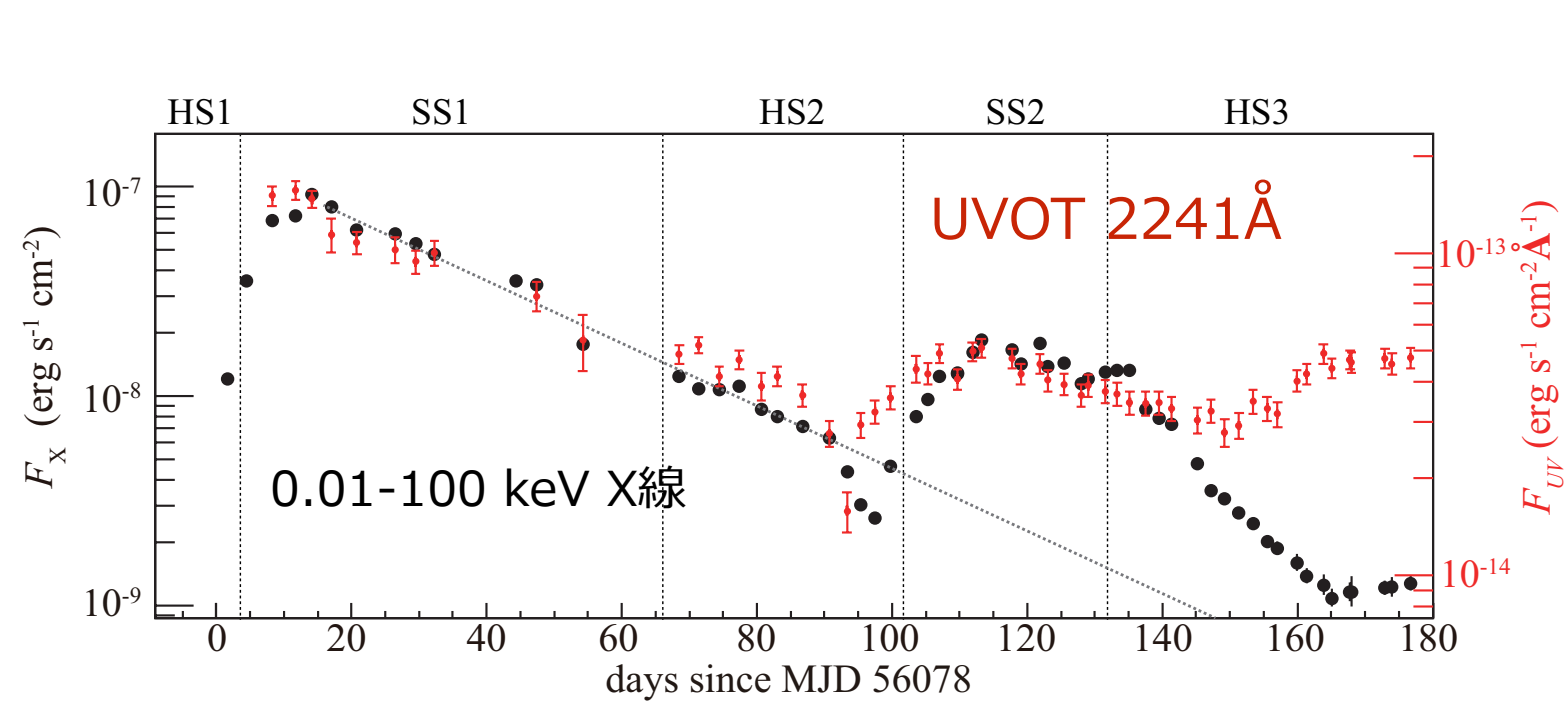
50dまでは6帯域(V, B, U, UVM1, UVM2, UVW2)

以降はUVM2のみ

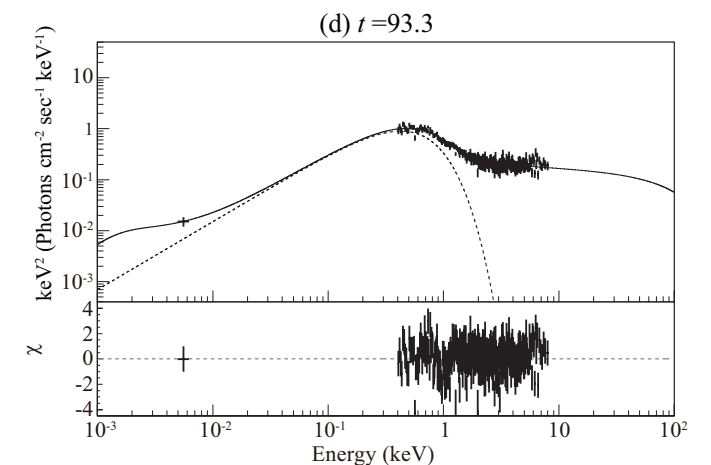
- ✓ 安定的に減光している時(10-90d, 110-140d)ではX線とUVが相関
- ✓ ~100dの再増光直前にdip的な減光構造(そうしてみるとX線にもある)、UVに対してX線が遅れている
- ✓ 140d以降は明らかな反相関

- (1) そもそもUV放射の起源は?
- (2) UVとX線の間隔の時間差の原因は?
- (3) 140d以降の反相関は何か?

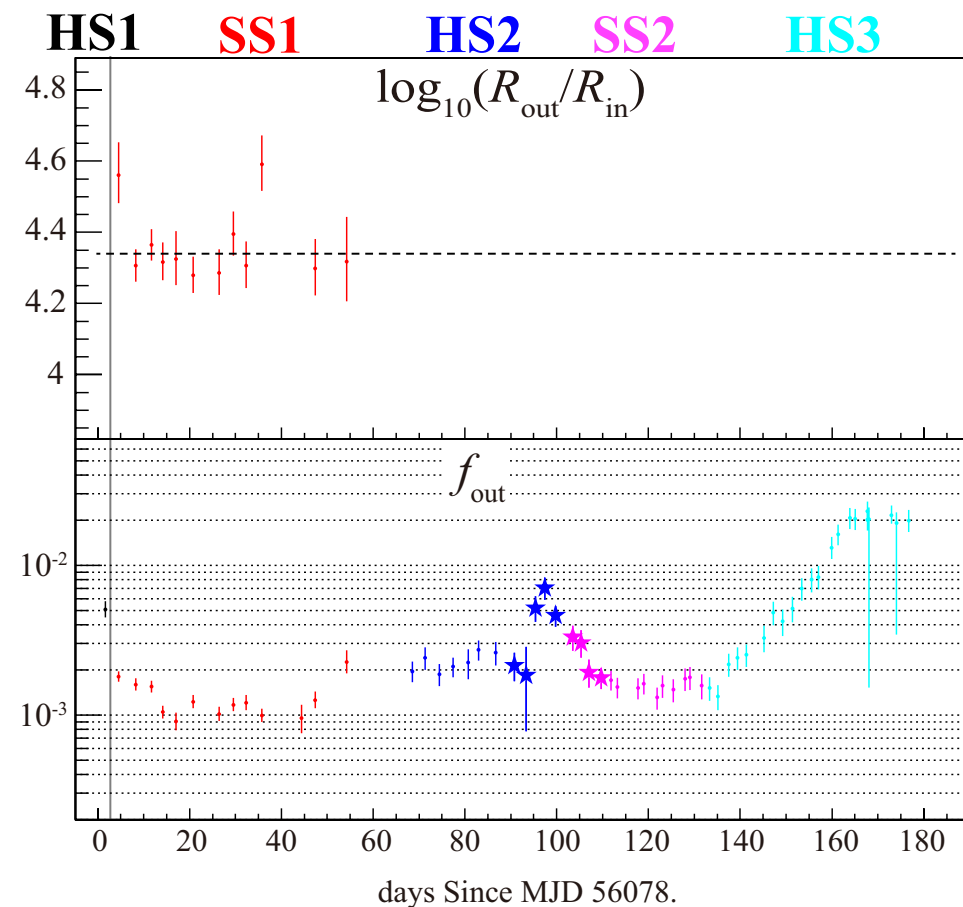
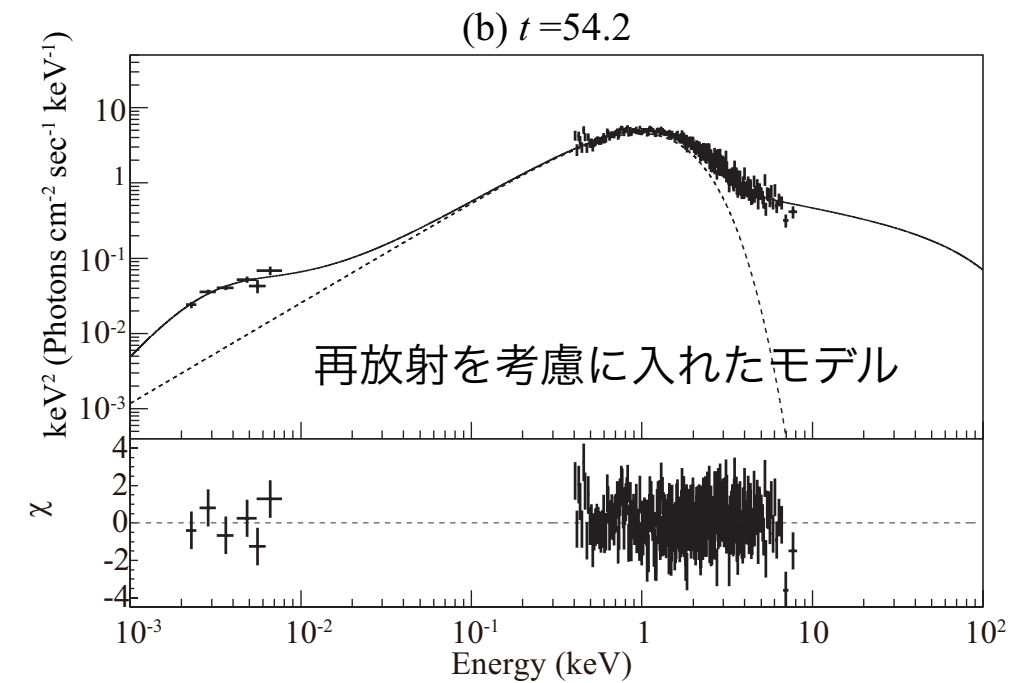
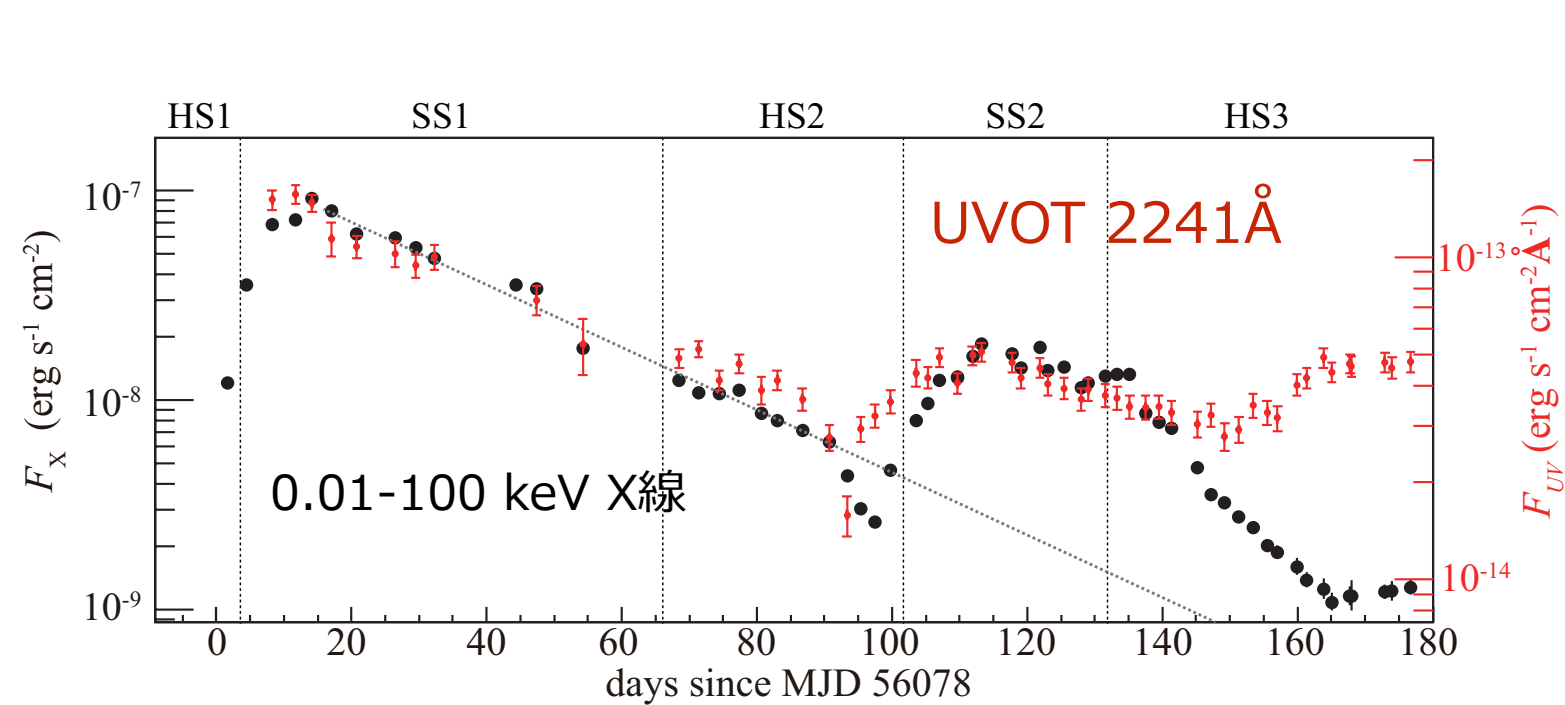
X線+紫外線エネルギースペクトル



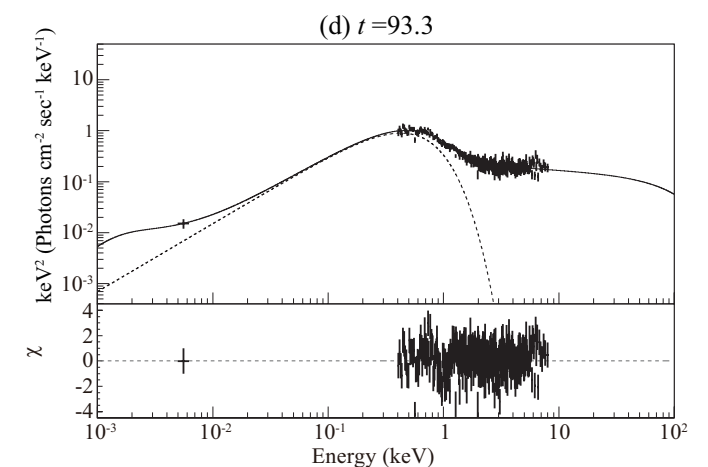
- ✓ 可視紫外の明るさは常に、X線観測の結果を外挿した円盤からの放射より高い
- ✓ 内縁からのX線に照らされた降着円盤全体からの再放射モデル(diskir; Gierlin'ski et al.)を使うと再現できる
- ✓ dipの直前の紫外線は、熱的な放射と再放射の成分が同程度。



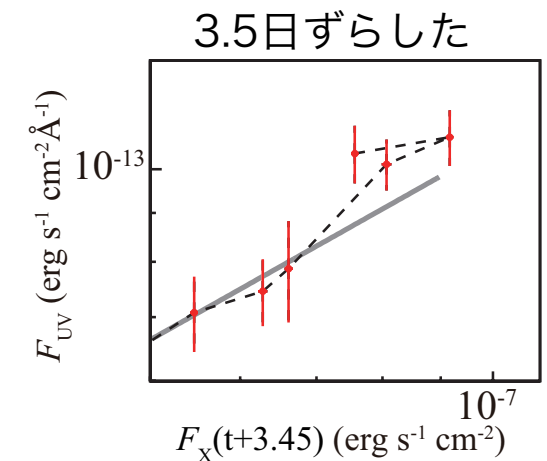
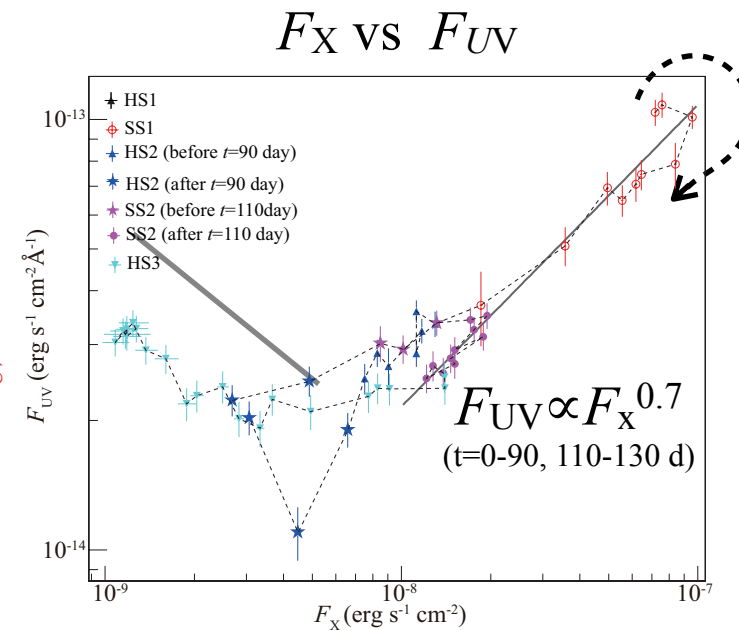
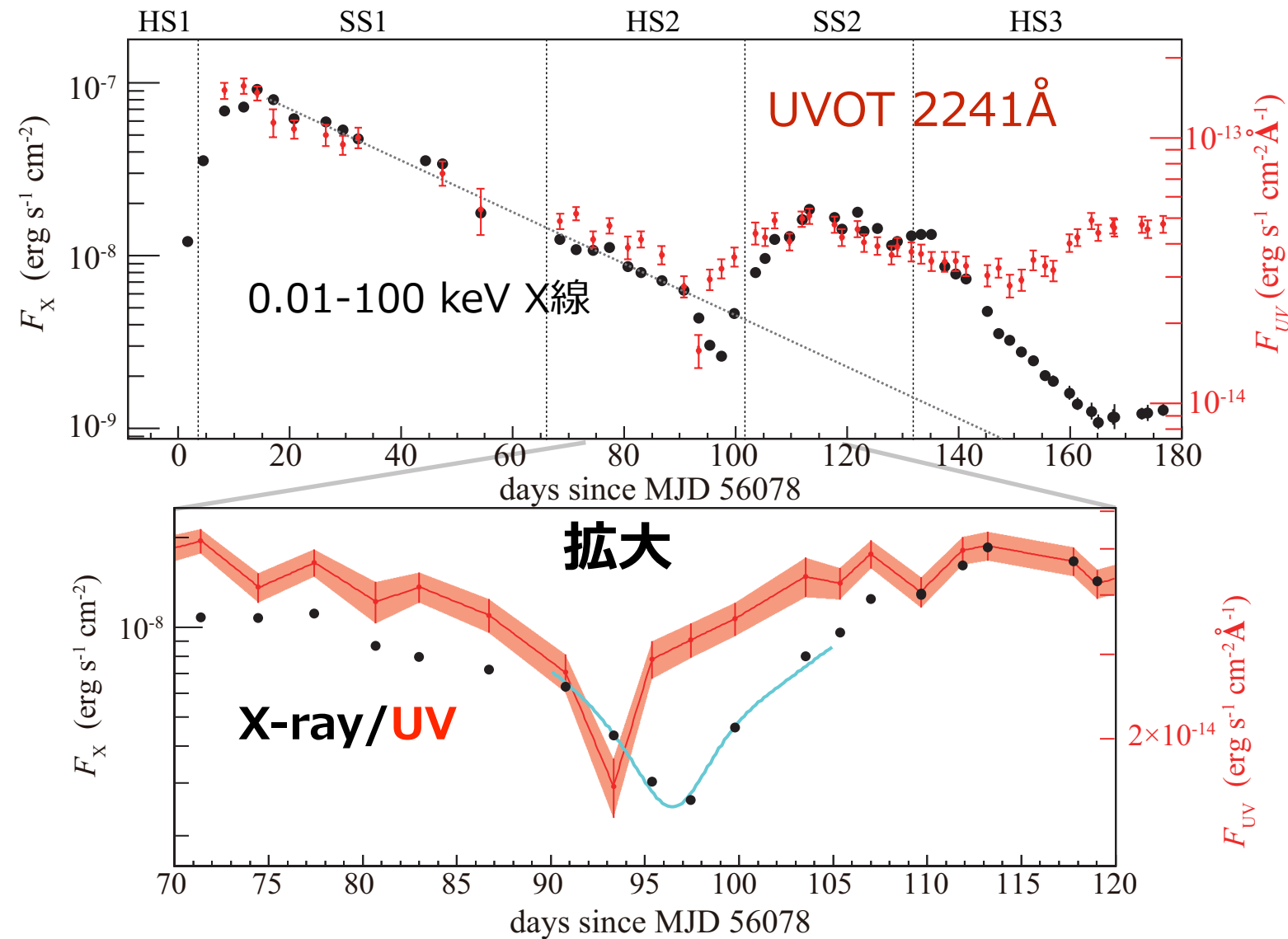
X線+紫外線エネルギースペクトル



- ✓ 可視紫外の明るさは常に、X線観測の結果を外挿した円盤からの放射より高い
- ✓ 内縁からのX線に照らされた降着円盤全体からの再放射モデル(diskir; Gierlin'ski et al.)を使うと再現できる
- ✓ dipの直前の紫外線は、熱的な放射と再放射の成分が同程度。



UVとX線に見られたdip



- UVのライトカーブをガウシアンで畳み込み積分したモデルを使ってX線データに対してフィッティング
- 時間差 $3.5(+/-0.2)$ 日, 幅 $3.8(-0.7/+0.8)$ 日FWHM
- 立ち上がりの部分でも類似の時間差が見えているかも?

議論

- “Fast Rise and Exponential Decay” 的な変動を示すX線新星は熱的不安定性により円盤が熱化し、質量降着率が増加することによって起こると考えられる。
- 10-90d, 110-140dは F_X , F_{UV} 共に指数関数的に減光。それ以外は異なる
 - 90dの周辺では F_{UV} 対して F_X は3.5日の遅れと幅3.8日(FWHM)の拡散が見られた。円盤のやや外縁(UV放射域は $\sim 500r_{in}$)ローカルな不安定性が起こり、密度の薄いリング上の構造が生じ、内縁方向にドリフトすれば説明できるかもしれない。
 - 140d以降では反相関している。ジェット等別成分に起源を持つ可能性があるが現在のデータ(この時期は紫外1バンドのみ)では分らない。
- 120dのピークでは(半径は最初のソフト状態と同じだが)指数関数的な減光の延長より明らかに明るい、降着円盤中に追加の質量注入があったことを思わせる。
 - 90dのdipが関連しているかもしれない。上でも議論したように円盤状のどこかで水素の中性状態への遷移が起こればその領域では粘性がさがって観測された紫外線とX線のdipを作れるかもしれない。冷たい状態への遷移が起って、円盤が鉛直方向に収縮してより外側、伴星やロシュ・ローブへ照射が効く。

