

MAXI によるブラックホール連星 GRS 1915+105 の研究

X-ray study of the blackhole candidate GRS1915+105 with MAXI

宇宙情報解析研究室 P09133 渡邊啓太郎

指導教員：久保田 あや 准教授、三原建弘 (理化学研究所)

1 X線天文学とは

X線天文学は観測天文学の一分野で、天体から放射されるX線の研究を行なう。X線放射は地球の大気によって吸収されるため、X線の観測装置は高い高度へ運ばなければならない。そのため、X線検出器は人工衛星に搭載される。X線を出す天体は太陽、ブラックホール連星、中性子連星など、多岐にわたる。

2 降着円盤

降着円盤とは、角運動量を持っているガスがブラックホール (以後 BH) に落ち込む時に、BHの周りを回転するためにできる円盤の事である。この円盤がX線を放つので、BHを観測する時はこのX線を観測するという事になる。円盤からのX線を観測する事によって、BHの周りの物理状態を知る事ができ、質量や回転速度などの情報に迫ることができる。

3 使用する観測装置

3.1 MAXI 搭載 GSC

本研究ではMAXIと、Swift衛星搭載BAT検出器を使った。国際宇宙ステーションの「きぼう」に搭載された全天X線監視装置 (MAXI) は、92分で地球を一周し全天をスキャン観測する[1]。X線エネルギー帯域が約2~30keVであるGSC比例計数管と、X線エネルギー帯域が0.5~10[keV]であるX線CCDカメラを搭載している。

3.2 Swift 衛星搭載 BAT 検出器

BAT(Burst Alert Telescope)とは、2004年11月20日に打ち上げられたガンマ線バースト観測衛星であるSwiftに搭載されているガンマ線望遠鏡である。BATは、重要なGRB(ガンマ線バースト)のきっかけなどを発見できるように設計された非常に高感度で大きなFOV(fields of view)器具である。観測可能なX線帯域は15-50keV[2]である。

4 背景と目的

GRS 1915+105とは、活動が活発になったり、無くなったりと、大きな変動があるランジェントな天体であり、BH連星である。GRS 1915+105はBH連星の中で一番明るく、BHの質量が一番重いと考えられる。太陽の質量の10-18倍とされているので[3]、仮に10倍とすると

GRS1915+105の質量は、 $2.0 \times 10^{31}[\text{kg}]$ となる。エディントン限界光度とは、質量降着によって天体が輝く場合の最大光度で、式は $L_{\text{edd}} = 1.5 \times 10^{31} \times \frac{M}{M_{\odot}} [\text{J/s}]$ (Mは天体の質量、 $M_{\odot}$ は太陽の質量)で表される。GRS1915+105の質量を先に出した値とすると、エディントン限界光度は、 $L_{\text{edd}} = 1.5 \times 10^{32} [\text{J/s}]$ となる。MAXIによるGRS1915+105の連続データを使って、そこで何が起きているのかを調べることを目的にする。

5 MAXIとSwift衛星搭載BAT検出器による、GRS1915+105の観測

図1に、MAXIが打ち上げられた、2009年8月15日から現在までの期間の、X線検出器MAXIとBATによる光度曲線を表示する。両図とも全ての期間において激しく変動していることが分かる。観測が始まって、0、400、600、800日後に大きくフレアしている。上の図がBATの光度曲線、下の図がMAXIの光度曲線を示す。図1の光度曲線でのMJD期間1、2、3、4、5、6はそれぞれ、MJD55418-55464、55487-55520、55618-55674、55700-55750、55840-55880、55984-56030にあたる。

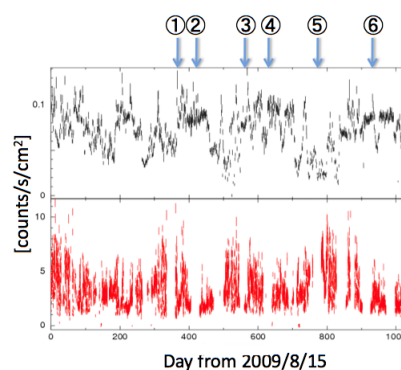


図1: MAXIとBATで得られた光度曲線。横軸はMAXIが打ち上げられてからの日数。縦軸はX線の強度を示す。

6 強度-強度図

光度曲線の中で、特徴的な変化をしている箇所がいくつかある。それらを拡大して、MAXIとBATのカウントによる強度-強度図を作成した。図2に、MJD55984-56030の36日間の強度-強度図を示す。黒:MJD55984-55990、赤:MJD55990-56004、緑:MJD56005-56013、青:MJD56014-56030の順にX線の強さが遷移していった

いる。図 3 に、MJD55840-55880 の 40 日間の強度-強度図を示す。黒:MJD55846-55850、赤:MJD55854-55858、緑:MJD55856-55860、青:MJD55861-55868 の順に X 線の強さが遷移していつている。

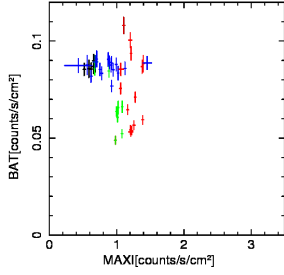


図 2: MJD55984-56030 での強度-強度図。

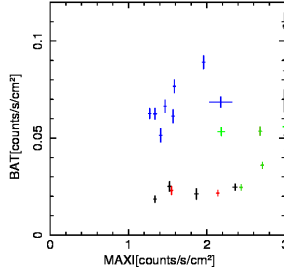


図 3: MJD55840-55880 での強度-強度図。

7 スペクトル解析

7.1 MJD 55840-55880 の解析

MAXI によって得られた MJD 55840-55880 の X 線スペクトルを図 4 に示す。まず、このデータを $A(E) = KE^\Gamma$ 式で表され、ベキ乗則モデルともいい、天体からの X 線放射を表す power-law モデルに、星間吸収 (wabs) をかけた放射モデル (pow-law wabs) で評価した。power-law 型のスペクトルは、光学的に厚い降着円盤から放射された低温の光子が周辺の高温のコロナによって逆コンプトン散乱を起こした場合に実現することがわかっている。フィットした結果、 χ^2/dof は 6.03(dof=282) となり、power-law モデルはデータを再現しないことがわかった。

次に、光学的に厚い降着円盤からの放射を記述する diskbb モデル [4] を加えて $\text{wabs} \times (\text{diskbb} + \text{power-law})$ というモデルで評価した。diskbb を記述するパラメータは円盤の最内縁の半径 r_{in} および最内縁での温度 kT_{in} である。このとき、power-law の光子指数は円盤が現れるときの標準的な値 $\Gamma = 2.3$ に固定した。フィット結果の X 線スペクトルを図 4 に、ベストフィット値を表 1 に示す。図 4 の上段は MAXI のデータおよび実線でモデルスペクトルを示しており、下段はデータとモデルの残差である。 χ^2/dof 値は 1.44(dof=282) となりこのモデルはデータをよく再現したことがわかる。ベストフィットパラメータから 2~20 keV の X 線光度 L_X は $9.25 \times 10^{31} \text{ J/s}$ 、すなわち L_{Edd} の 61.7% であった。また、diskbb のパラメータは $kT_{in} = 1.93 \pm 0.018 \text{ keV}$, $r_{in} = 35.1 \pm 0.57 \text{ km}$ と決まった。

7.2 MJD 55984-56030 の解析

MJD55984 -56030 の 36 日間の MAXI によるスペクトルを同様の手法で評価した。こちらのデータは、表 1 および図 5 に示すように power-law モデルでよく再現され、高温のコロナが優勢で低温の降着円盤 (diskbb 成分) は BH の遠方に遠ざかっていると考えられる。この状態での X 線光度は 2~20keV で $2.09 \times 10^{31} \text{ J/s}$ となる。 L_{Edd} の 22% であり、2 成分モデルで再現された MJD 55840-55880 の観測にくらべて 13% 暗い状態にある。

7.3 その他の観測期間のデータ解析のまとめ

本研究で使用了 MJD 期間 55840-55880、55984-56030 は、図 1 の光度曲線それぞれ、5、6 にあたる。それ以外の MJD55418-55464、55487-55520、55618-55674、55700-55750 はそれぞれ、1、2、3、4 にあたる。1、2、3、4 は全て power-law モデルで解析を行った。図 6 にそれらの期間で横軸が flux、縦軸が power-law index のグラフを示した。flux が上がれば power-law index も上がっていくという比例関係があることが分かった。

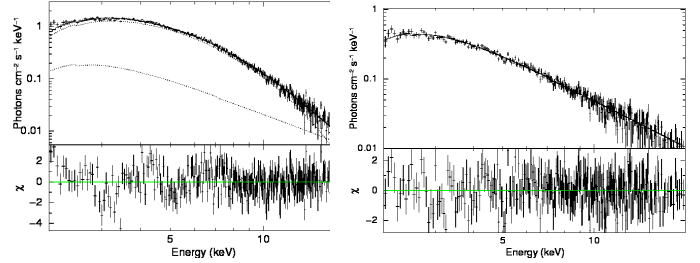


図 4: MJD55840-55880 の期間でのスペクトル

図 5: MJD55984-56030 の期間でのスペクトル

表 1: 各スペクトルのパラメータ

MJD[day]	55840-55880	55984-56030
wabs nH [$10^{21}/\text{cm}^2$]	4.38 ± 0.103	3.97 ± 0.148
Power-law index	2.3(固定)	2.27 ± 0.024
norm	4.32 ± 0.64	9.07 ± 0.43
diskbb T_{in} [keV]	1.93 ± 0.018	
diskbb norm	269 ± 8.88	
χ^2	1.44	1.05
$\nu(\text{dof})$	282	274
flux(2-20keV) [$\text{J}/\text{cm}^2/\text{s}$]	4.95×10^{-15}	1.12×10^{-15}

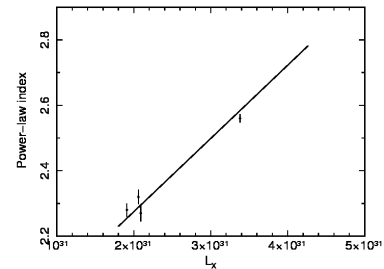


図 6: 横軸が flux、縦軸が power-law index のグラフ

8 まとめ

MAXI と BAT による、光度曲線を表示した。両検出器とも X 線の強度が激しく変動している事が分かった。次に、光度曲線が特徴的なところを拡大して、強度-強度図と、その期間でのスペクトルを作成した。結果、flux が上がると power-law index も上がるという事が分かった。

参考文献

- [1] Matsuoka, M. et al. 2009, PASJ, 61, 999
- [2] N.Gehrels et al. (2004) APJ 1005, 1020
- [3] T.Belloni et al. (2000) A&A 355, 271
- [4] Mitsuda,K. et al. 1984,PASJ,36,741