

MAXIによるBe型X線連星パルサーのアウトバーストの観測

電気電子情報工学専攻
宇宙情報工学研究

そおとめ てつや
m110060-1 五月女哲哉
指導教員 久保田あや
(担当教員 三原 建弘 (理化学研究所))

1 背景と目的

光り輝く恒星はその寿命の最後に超新星爆発を起こす。元の質量が太陽の約8倍から20倍までの恒星は爆発後、中心に中性子星を残すと考えられている。1967年には電波観測により、1秒程度で周期的に電波強度が増減する電波パルサーが見つかった。中性子星の中には恒星と連星系をなして質量降着で光るものもありX線連星パルサーと呼ばれる。X線連星パルサーには中性子星の回転によるパルス周期、伴星との連星周期の2つの周期変動に加え、超軌道周期と呼ばれる長周期の周期変動を持つものもある。主星がBe型星であるものはBe型X線連星と呼ばれ、長周期の楕円軌道を持ち、パルサーが主星に一番近づく近星点でアウトバーストというX線増光現象を起こす。これは中性子星がBe型星の星周円盤を突っ切るときに発生していると考えられている。Be型星の軌道周期は30日以上のもので多く、その周期の決定には長期間の連続的かつ継続的な観測が必要である。本研究ではMAXIの全天監視開始時から現在までのデータを解析し、Be型X線連星パルサーの各アウトバーストの明るさや継続時間などの比較を行い、その特徴を調べ考察を行う。またそのX線のスペクトル解析も行う。

2 観測

国際宇宙ステーションに取り付けられた全天X線監視装置MAXI[5]は現行の全天サーベイ型の検出器である。RXTE衛星搭載の全天観測装置(ASM: All-Sky Monitor)の2~10倍の感度を持つ。MAXIで観測された天体のライトカーブはホームページ(<http://maxi.riken.jp>)から公開されている。そこからまずBe型X線連星パルサーのアウトバーストのリストアップを行った。2011年11月の時点でMAXIは26個のBe型X線連星をモニターしているが、そのうち13天体から35回のアウトバーストを観測していた(図1)。

3 軌道周期

まずBe型X線連星パルサーの光度曲線から、アウトバーストの時間間隔を調べた。GRO J1008-57ではMAXI以前の観測で得られた軌道周期は248.9日と言われていた[4]、MAXIで得られた3回のアウトバーストを考慮するとずれがあることが分かった。このずれがなくなるように新しい軌道周期を求めたところ249.4日が適切であった(図2)。

XTE J1858+034ではMAXIによって観測された2回のアウトバーストピーク(MJD: 55458, 55884)と過去にRXTE/ASMによって観測された2回のアウトバーストピーク(MJD: 50850, 53126)から、アウトバーストの時間間隔が軌道周期の整数倍であるという条件から軌道周期を求めたところ、28.4日となった(図3)。

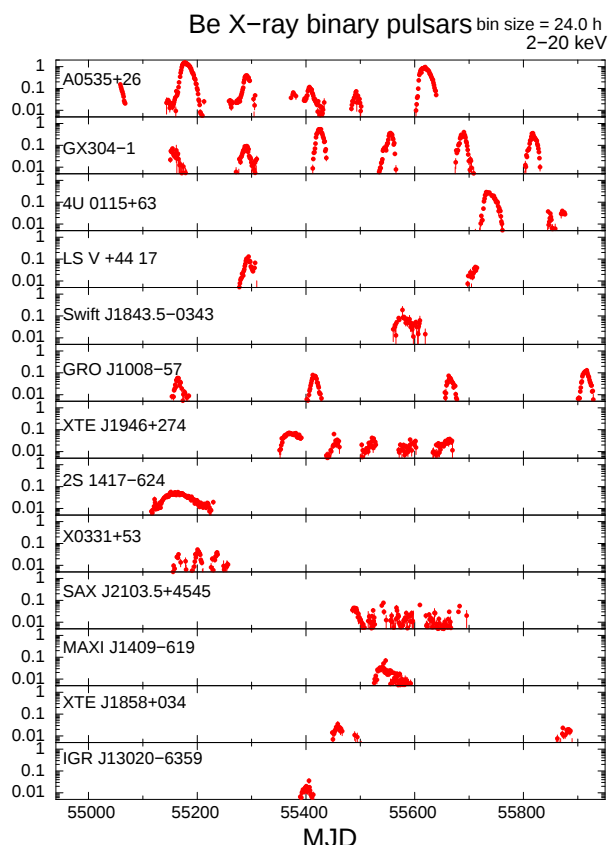


図1: MAXIでアウトバーストを観測した13個のBe型X線連星パルサーの光度曲線

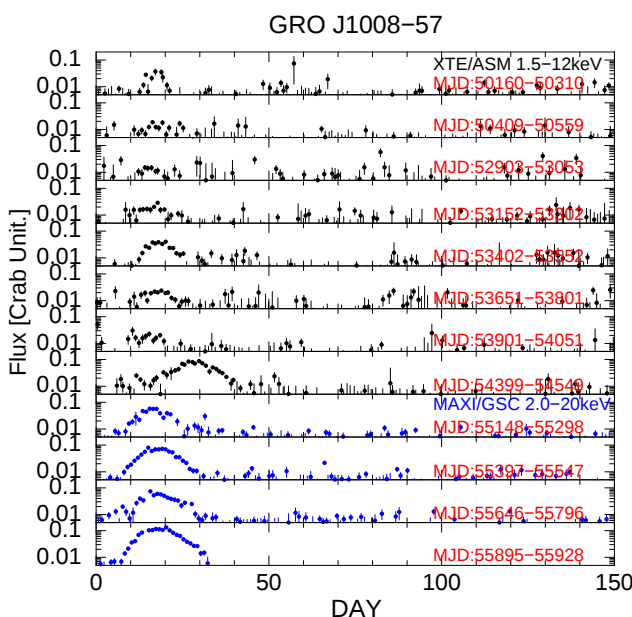


図2: 本研究で求めた新しい軌道周期(249.4日)で畳み込んだGRO J1008-57の光度曲線。上8個はRXTE/ASM、下4個はMAXIによるデータ。0はアウトバースト前のある時刻で横軸はそれからの日数。各観測期間は図中にMJDで示した。

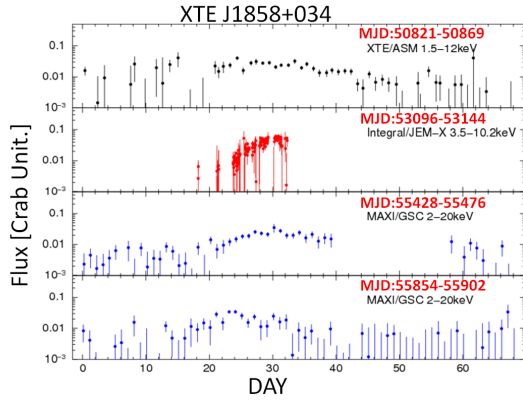


図 3: 本研究で求めた軌道周期 (28.4 日) で畳み込んだ XTE J1858+034 の光度曲線。

4 スペクトル解析

ここでは観測によって得られたスペクトルをモデルでフィットし物理パラメータを調べた。モデルの妥当性は χ^2 検定で評価する。MAXI で観測された Be 型 X 線連星パルサーのうち最も明るかった A 0535+262 について、スペクトルを再現する放射モデルを調べた。

4.1 時間によるデータ分割

スペクトル解析を行うに当たりスペクトルの変動が分かるように光度曲線とハードネス比 (2 つのエネルギー帯での明るさの比) を作成した (図 4)。アウトバースト前から上がりかけまではハードネス比は小さく、ピークではハードネス比が大きくなる。その後のピークの減衰部分では徐々にハードネス比は小さくなる。そこで同じスペクトル状態と思われる期間をまとめて全体を 4 つの期間にわけスペクトル解析を行った。

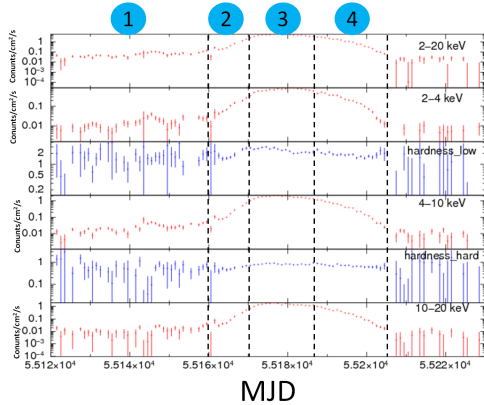


図 4: 光度曲線とハードネス比による期間分割

4.2 モデルフィット

各期間ごとにスペクトルを作成しモデルフィットを行った。まずべき関数 (power-law) に星間吸収 (wabs) をかけたモデルを用いた。ここで power-law モデルとは、中性子星表面から放射された軟 X 線が降着円柱の高温プラズマにより逆コンプトン散乱されたものを表すモデルであり、 $A(E) = KE^{-\Gamma}$ で表される。K は単位時間・面積・エネルギーあたりの放射光子量で Γ はべき指数 (無次元量) である。期間 1, 2, 4 ではこのモデルでは良くフィットできた。しかしアウトバーストピークに相当する期間 3 では 3 ~ 4keV のあたりでデータとモデルとの間にずれが生じた (χ^2_ν 値 2.44)。このずれをなくすために黒体放射 (bbody) を追加した

モデルと部分吸収 (pcfabs) モデルの 2 種類のモデルを考えた。結果は、bbody を追加したモデルでは温度 2.6keV で χ^2 値が 1.39 まで改善され、pcfabs モデルでは $N_H = 1.2 \times 10^{23} \text{cm}^2$ の物質で 62% が遮られるとして χ^2 値が 1.15 になった (図 5)。これはパルサーが星周円盤の向こう側に行ったため星周円盤による吸収が見えていると解釈することもできる。

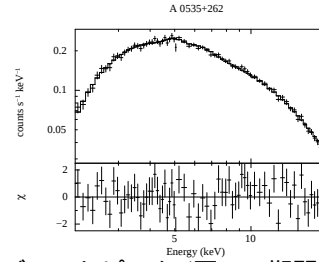


図 5: アウトバーストピーク (図 4 の期間 2) でのスペクトルの部分吸収モデル (wabs pcfabs) によるフィット。

表 1: フィットパラメータ

期間	MJD	N_H	Γ	norm	χ^2_ν
1	55134-55160	17.0 ± 9.13	2.85 ± 0.95	0.78 ± 1.51	1.90
2	55160-55170	4.04 ± 0.96	1.28 ± 9.77	0.67 ± 0.15	0.92
3	55170-55187	2.17 ± 0.14	0.98 ± 1.38	2.02 ± 6.64	2.44
3	pcfabs	0.0 ± 1.34	1.19 ± 0.03	3.57 ± 0.32	1.15
4	55187-55204	1.61 ± 0.20	1.13 ± 2.40	0.47 ± 2.53	0.95

5 結果と考察

MAXI で観測した Be 型 X 線連星パルサーの光度曲線を調べ、13 天体からの 35 回のアウトバーストを検出した。GRO J1008-57 の光度曲線を重ねること、軌道周期は先行研究の 248.9 日ではなく 249.4 日であることが分かった。同様に XTE J1858+034 の軌道周期は 28.4 日であることがわかった。A 0535+262 のスペクトルを調べた結果、アウトバーストピークでは power-law モデルでは合わず、部分吸収モデル pcfabs (あるいは黒体放射 bbody を追加したモデル) で合わせることができた。

参考文献

- [1] 石川翔大 卒業論文 (芝浦工業大学) 2011
- [2] 山本堂之 修士論文 (日本大学) 2010
- [3] 中島基樹 修士論文 (日本大学) 2003
- [4] Levine, L. et al. 2011, ApJS, 196, 6
- [5] Matsuoka, M. et al. 2009, PASJ, 61, 999
- [6] Coe, M. et al. 2007, MNRAS, 378, 1427

研究業績

- 五月女哲哉, 三原建弘, 他 MAXI チーム, "MAXI による Be 型 X 線連星パルサーのアウトバーストの観測", 日本天文学会 2012 年春季年会発表予定