

全天 X 線監視装置 MAXI による古典新星の検出可能性について

島ノ江 純、山岡 均 (九州大学)

古典新星は激変星の一種で、降着連星系における白色矮星表面での核爆発現象として知られている。中性子星表面での爆発現象である I 型 X 線バーストと同様に爆発時に X 線で輝くことが期待されているが、その発生のタイミングを予想することは難しく、捉えられた例はなかった。全天 X 線監視装置 MAXI は国際宇宙ステーションに搭載されている広視野の X 線観測装置であり、約 90 分ごとに一度のペースで全天をスキャンすることができる。得られたデータはアーカイブされ、時間を遡って現象を探索することができるので、変動の激しい天体に対して非常に有効な観測手段であるといえる。天文学会 2010 年秋季年会では MAXI 運用開始後に発見された古典新星のうち 8 例について爆発時の X 線を調査したが、確認することはできなかった。そこで今回、ガンマ線バースト観測衛星 Swift によって得られた V407 Cyg と RS Oph のライトカーブを参考に、MAXI による古典新星の検出可能性を見積もった。

1 Crab の値

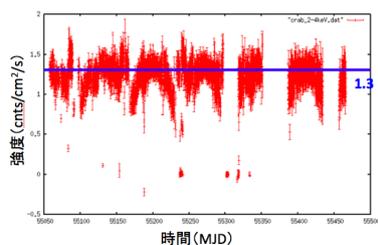


図 1 2-4 keV のライトカーブ

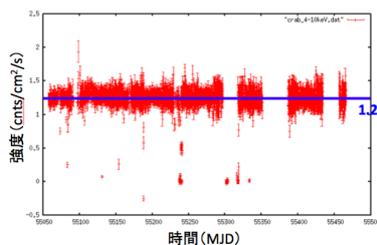


図 2 4-10 keV のライトカーブ

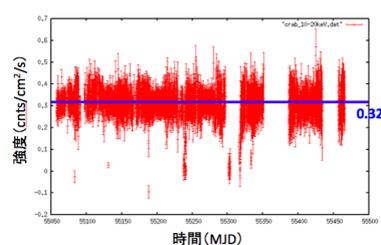


図 3 10-20 keV のライトカーブ

図 1～3 より、

$$1\text{Crab} = 1.3\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad @2 - 4\text{keV} \quad (1)$$

$$= 1.2\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad @4 - 10\text{keV} \quad (2)$$

$$= 0.32\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad @10 - 20\text{keV} \quad (3)$$

である。

2 Swift/XRT による V407 Cyg のデータからの見積もり

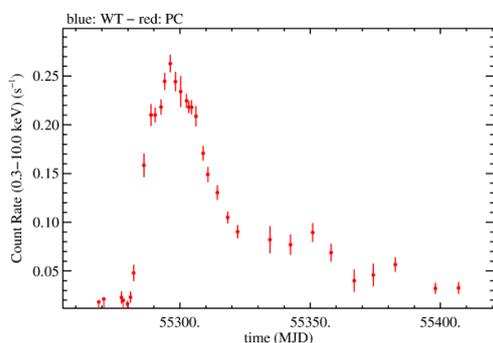


図4 V407 Cyg の X 線ライトカーブ (@0.3~10 keV)

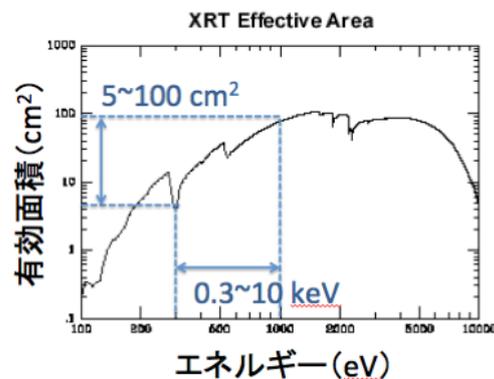


図5 Swift/XRT の有効面積

図4のデータは Swift/XRT の0.3~10keVで得られており、そのときの有効面積を読み取るとおよそ5~100cm²。この平均(約50cm²)を有効面積として、図4のデータのピークの単位を変換すると、

$$0.25\text{cnts/s} = 0.05\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad (4)$$

となる。

ピークの時間変化のタイムスケールは数日(=week)なので、MAXI/GSC(1.5~10 keV)の感度は、

$$15\text{mCrab/day} = 5.7\text{mCrab/week} = 0.014\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad (5)$$

MAXI/SSC(0.5~12 keV)の感度は、

$$50\text{mCrab/day} = 18.9\text{mCrab/week} = 0.047\text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad (6)$$

太陽系から V407 Cyg までの距離は約9000 ly であり、V407 Cyg と同様の古典新星が R 光年の位置に出現したとすると、それを GSC で検出するためには、

$$0.005 (\text{ピークの強度}) \times (9000/R)^2 > 0.014 (\text{GSC の感度}) \quad (7)$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{R < 5400ly} \quad (8)$$

同様に、SSC で検出するためには、

$$0.005 (\text{ピークの強度}) \times (9000/R)^2 > 0.047 (\text{SSC の感度}) \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{R < 2900ly} \quad (10)$$

となる。

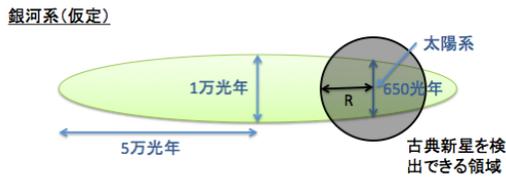


図6 銀河系のイメージ

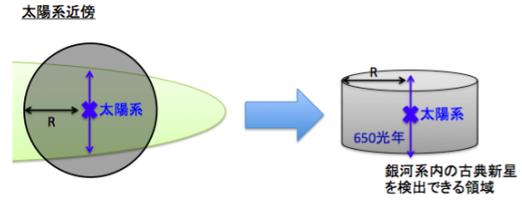


図7 太陽系近傍のイメージ

ここで銀河系の体積はおおよそ 2.0×10^{13} と見積もることができるので、古典新星の発生率（観測率）を 10 個/yr と仮定すると、銀河系内の古典新星の数密度 ρ は、

$$\rho = 10 \text{ 個/yr} \div (2.0 \times 10^{13} \text{ ly}^3) \quad (11)$$

$$= 5.0 \times 10^{-13} \text{ 個/ly}^3/\text{yr} \quad (12)$$

したがって図7より、検出できる古典新星の個数の期待値は、GSC の場合

$$\rho \times \pi R^2 \times 650 \text{ ly} = \underline{\underline{0.030 \text{ 個/yr}}} \quad (13)$$

同様に SSC の場合

$$\rho \times \pi R^2 \times 650 \text{ ly} = \underline{\underline{0.0086 \text{ 個/yr}}} \quad (14)$$

3 Swift/XRT による RS Oph のデータからの見積もり

0.3~0.55 keV の X 線は SSC (0.5~12 keV) で検出できる可能性がある。RS Oph までの距離はおおよそ 5000 光年なので、V407 Cyg の場合と同様の計算をすると、

$$0.14 \text{ (ピークの強度)} \times (5000/R)^2 > 0.047 \text{ (SSC の感度)} \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow \underline{\underline{R < 2900 \text{ ly}}} \quad (16)$$

したがって、このとき検出できる古典新星の個数の期待値は、

$$\rho \times \pi R^2 \times 650 \text{ ly} = \underline{\underline{0.075 \text{ 個/yr}}} \quad (17)$$

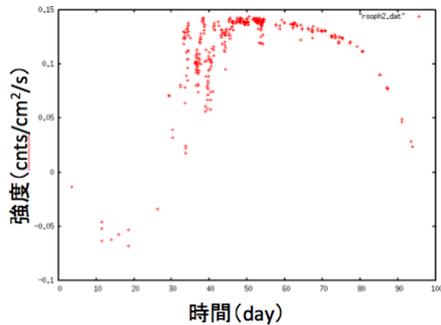


図8 RS Oph のライトカーブ (@0.3~0.55 keV)

4 Swift/BAT による RS Oph のデータからの見積もり

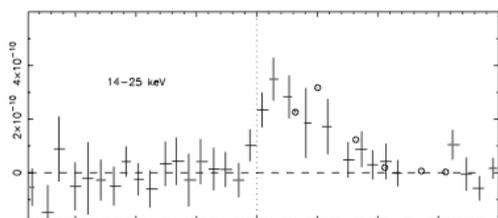


図9 RS Oph のライトカーブ (@14~25 keV)

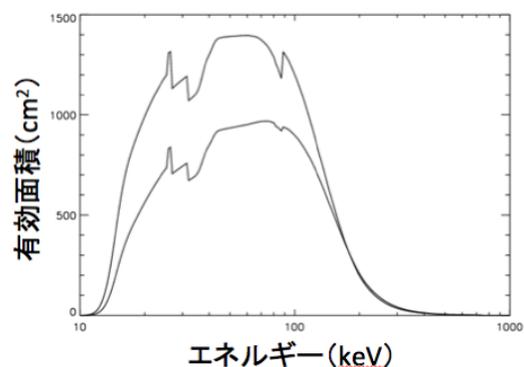


図10 Swift/BAT の有効面積

図10より14~25 keVの有効面積の変化はほぼ線形なので、図9のエネルギーを平均値の19.5 keVと考える。また $1\text{erg} = 10^{-7}\text{J}$ 、 $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ なので、ピークの強度は、

$$3.5 \times 10^{-10} \text{erg/cm}^2/\text{s} = 0.011 \text{cnts/cm}^2/\text{s} \quad (18)$$

14~25 keVに最も近いMAXIのエネルギーバンドはGSCの10~20 keVであり、そのバンドでは1 Crab = $0.32 \text{cnts/cm}^2/\text{s}$ なので、このときGSCの感度は $15 \text{mCrab/day} = 4.8 \times 10^{-3} \text{cnts/cm}^2/\text{s}$ となる。よって前の計算と同様にすれば、

$$0.11 (\text{ピークの強度}) \times (5000/R)^2 > 0.0048 (\text{GSCの感度}) \quad (19)$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{R < 7600\text{ly}} \quad (20)$$

検出できる古典新星の数の期待値は、

$$\rho \times \pi R^2 \times 650\text{ly} = \mathbf{0.059 \text{個/yr}} \quad (21)$$

となる。

5 結果

- MAXI/GSCでは最高で **7600 光年** 先にある古典新星の観測をすることができ、その検出の期待値は年間 **0.059 個** である。
- MAXI/SSCでは最高で **8600 光年** 先にある古典新星の観測をすることができ、その検出の期待値は年間 **0.075 個** である。