



全天 X 線監視装置 MAXI (IV)

X 線変動天体の報告

三原 建 弘・中 平 聡 志・磯 部 直 樹・MAXI チーム

〈理化学研究所 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1〉〈青山学院大学〉〈京都大学〉

e-mail: tmihara@riken.jp

全天 X 線監視装置 MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) が稼動を始めて 11 カ月がたちました。その間 MAXI は 11 個のガンマ線バーストや X 線トランジェント、XTE J1752-223 や Swift J1753.5-0127 のような X 線新星、GX 339-4, Cir X-1, Cyg X-3 のようなジェット天体、A0535+26, GX304-1, LS V +44 17 のような Be 型 X 線連星パルサーのフレアやプリカーサー、M15 や NGC6440 などの中性子星連星系からの X 線バースト、RS CVn 型連星系からの X 線フレア、Mrk421 のようなブレーザーからのフレアなどを観測し、天文学会などで発表してきました。Astro News の MAXI 最終回では、MAXI の見た X 線変動天体の中から 2 天体を取り上げて報告します。

1. X 線新星 (ブラックホール連星系)

XTE J1752-223

XTE J1752-223 は 2009 年 10 月 23 日に RXTE 衛星の PCA バルジスキャンによって発見された¹⁾ 新しいブラックホール候補星で、銀河中心方向の射手座にあります。当時打ち上げ後 2 カ月半の初期運用段階であった MAXI でも急いでデータ解析したところ、RXTE 衛星による発見の前から検出していたことがわかり、われわれは最初の検出から 2 日間の増光の様子について速報を行いました²⁾。

銀河系内のブラックホール候補天体はこれまでに 20 例以上が発見されています。そのアウトバーストは通常、べき型のスペクトルをもつハード状態で発見され、数日間増光を続けた後に状態遷移を起し、降着円盤からの放射が卓越するソフト状態に遷移して明るさのピークに達します。これらの変動は、主に質量降着率によって降着円盤の状態が変化することによって引き起こされると考えられています。しかし MAXI の観測結果

によると XTE J1752-223 はその後 3 カ月間にもわたってハード状態を維持し、しかもその途中でフラックスレベルの違う二つの定常状態を示しました。長いハード状態はほかに GX 339-4 などのブラックホール候補星でも見られていますが、二つの定常状態はこの天体で初めて見られました。全天を監視する目的で設計された MAXI は、太陽制限角 (4 度) が他の X 線観測装置と比較して小さく不可視期間が少ないので、MAXI だけが二つ目の定常状態を観測することができました。

XTE J1752-223 はその後 2010 年 1 月 19 日に低エネルギー X 線の急激な増光を起し、MAXI は速報を出しました³⁾。図 1 ではハード状態からソフト状態への遷移が一目瞭然です。その報告を受けたオーストラリアにある ATCA 望遠鏡の電波観測によって、状態遷移と同期したジェットの放出が確認されました⁴⁾。状態遷移に伴うジェットの放出は通常起こりうる現象だと一部では考えられていますが、観測のカバー率の関係で十分な検証が行われているとは言えませんでした。今回、MAXI の 90 分ごとに全天の広い領域を観測

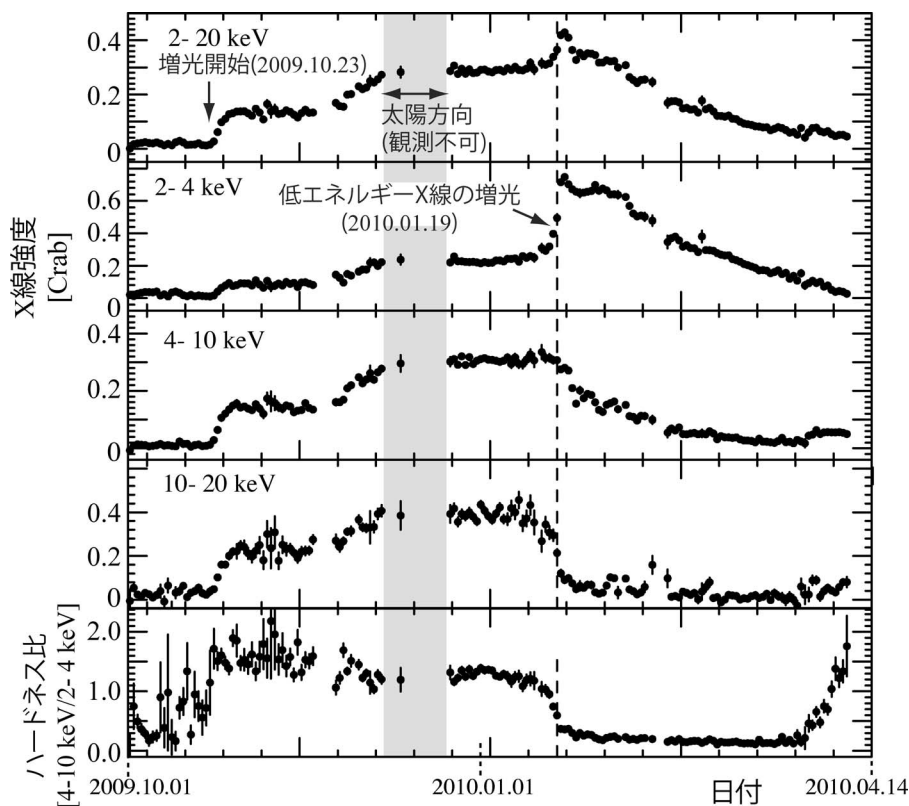


図1 MAXIによって取得されたXTE J1752-223の1日平均光度曲線。横軸は2009年10月1日から2010年4月14日までの約200日間で1日ごとのデータを示した。それぞれ2-20 keV, 2-4 keV, 4-10 keV, 10-20 keVのX線光度 (Crab はかに星雲のX線強度), 下段は4-10 keV/2-4 keVのハードネス比である。灰色の背景色で示した期間は、太陽方向と重なるために観測が行えなかった期間。

するという特徴によって、新たな観測例を加えることができました。

その後もMAXIはほぼ連続的にXTE J1752-223のモニタを行い、アウトバーストの開始→ソフト状態への遷移→減光→ハード状態への遷移というアウトバーストの一連の流れを、半年間、非常に高い精度で観測し、その結果はPASJに掲載されます⁹⁾。

今後もMAXIはこのようなブラックホール候補星をはじめ、多くの突発天体の変動をモニターしていくことが期待されます。

2. ブレーザージェット天体 Mrk 421

活動銀河中心核の中には、ジェットと呼ばれる

超高速のプラズマ流を噴出している天体があります。なかでも、ジェットがわれわれの方向を向いている活動銀河核はブレーザーと呼ばれています。ブレーザーでは、ジェットの速度が光速に近いことによって起こるビーミング効果もあってジェットの放射が強調され、中心核からの明るさをはるかにしのいでいます。そして、ジェットの中では粒子が非常に高いエネルギーまで加速されていて、その粒子からの放射がX線を含むあらゆる波長帯域で観測されています。ブレーザーの大きな特徴の一つに、その明るさが激しく変動することがあります。特に、数日かそれよりも短いタイムスケールで爆発的な増光をすることがあり、この現象はフレアと呼ばれています。ブレー

ザーからフレアを検出していち早く全世界に通報するのは、まさに MAXI の得意技です。

Markaryan 421 (Mrk 421) は、約 4 億光年（赤方偏移約 0.031, 約 120 Mpc）の彼方に存在する有名なブレーザーです。ブレーザーの中でも X 線の強度が強い天体で、これまでも盛んに X 線観測が行われてきました⁶⁾。また、X 線フレアもしばしば報告されています⁷⁾。図 2（上）に示したのは、MAXI による約 7 カ月間の Mrk 421 の X 線光度曲線です。X 線強度が激しく変動している様子がよくわかります。MAXI は、2010 年の元旦⁸⁾と 2月 17 日⁹⁾に起こったフレアを検出し、全世界に通報しました。その時期の X 線光度曲線を拡大したのが図 2（下）です。これらのフレアの際の Mrk 421 の X 線強度は、MAXI 以前の観測と比

べてはるかに強く、史上最大級のフレアであったことがわかりました。2 月 17 日のフレアの際には、同時にガンマ線でのフレアが起こったことも報告されました¹⁰⁾。また、このフレアに伴って Mrk 421 は約 1 カ月間も活発な状態を示し、X 線フレアを何回か起こしています。連続的に観測できる MAXI の威力がはっきりとわかります。

ブレーザーのフレアの際の X 線光度の変化を詳しく分析すると、ジェットに関連する物理量を探ることができます。Mrk 421 の場合は、ジェット中の高エネルギー電子がジェットのもつ磁場によってシンクロトン放射を放出しながらエネルギーを失うことで、X 線強度が減衰していくと考えられます。このとき、磁場が強ければ電子はより早くエネルギーを失います。したがって、フレ

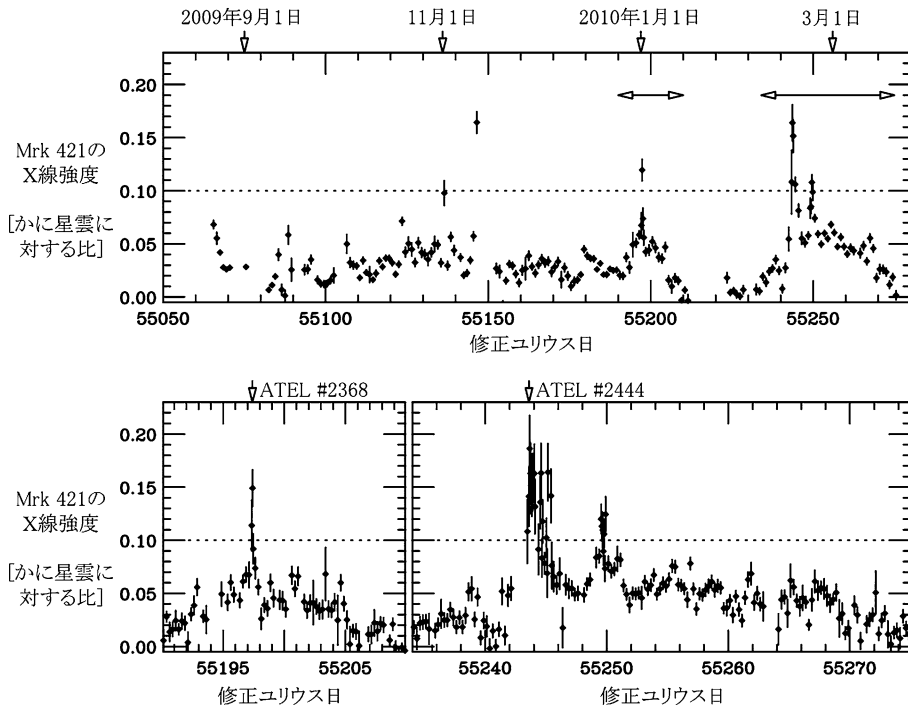


図 2 (上) 2009 年 8 月 22 日から 2010 年 3 月 20 日の約 7 カ月間に MAXI が観測した、Mrk 421 の 2-10 keV の 1 日平均 X 線光度曲線（かに星雲の 1/10 より明るい時期は、6 時間平均で示してある）。横の点線は、MAXI 以前の観測で得られていた Mrk 421 の X 線光度の最大値。(下) 2010 年元旦と 2 月 17 日のフレアの前後（図 2 上の矢印の時期）の X 線光度曲線を 6 時間平均で示した（かに星雲の 1/10 より明るい時期は、MAXI の軌道周期である 1.5 時間平均で示した）。MAXI が Astronomers Telegram を通じて全世界に通報した史上最大級のフレアを、図の上の二つの矢印で示してある。

アの減衰時間を測定すれば、ジェット中の磁場の強さを推定できます。MAXI のデータから、2010 年元旦のフレアでは X 線強度が半分になるまでの時間が、約 7 時間であることがわかりました。このことから、磁場の強度が $0.04 \text{ Gauss } (d/10)^{-1/3}$ と推定できました (d はジェットのビーミング因子)。この磁場はやや弱めですが、これまでの研究で得られた Mrk 421 の磁場 ($0.036\text{--}0.44 \text{ G}$)¹¹⁾ と矛盾はありませんでした。一方、2 月 17 日のフレアは X 線強度が半分に減衰するまでに、約 1 日半もかかりました。これから予想される磁場の強さは $0.015 \text{ Gauss } (d/10)^{-1/3}$ になってしまい、これまでの観測と比べると小さすぎます。もしかすると、いくつかのフレアが重なり合って、この史上最大のフレアが生まれたのかもしれませんが。これらの結果は PASJ に投稿されています¹²⁾。

最後に

MAXI の目的は、変動の激しい X 線の星空の「21 世紀の X 線カタログ」作りと「X 線変動天体の速報」です。X 線変動天体としてここでは 2 天体を紹介しましたが、今後続々とこのような天体が出現してくることと期待しています。ここで用いられた X 線天体の光度曲線は MAXI ホーム

ページ <http://maxi.riken.jp> で公開されていて、どなたでも得ることができます。今でこそ 11 カ月分しかありませんが、今後何年にもわたってデータが蓄積され、日本発の「人類の財産」となることを願っております。

参考文献

- 1) Markwardt C. B., et al., 2009, The Astronomers Telegram, #2258
- 2) Nakahira S., et al., 2009, The Astronomers Telegram, #2259
- 3) Negoro H., et al., 2010, The Astronomers Telegram, #2396
- 4) Brocksopp C., et al., 2010, The Astronomers Telegram, #2400
- 5) Nakahira S., et al., 2010, PASJ, 62 in press.
- 6) Tanihata C., et al., 2004, ApJ 601, 759 and references therein
- 7) Donnarumma, et al., 2009, ApJ 691, L13 など
- 8) Isobe N., et al., 2010, The Astronomers Telegram, #2368
- 9) Isobe N., et al., 2010, The Astronomers Telegram, #2444
- 10) Ong R. A., et al., 2010, The Astronomers Telegram, #2443
- 11) Kino M., et al. 2002, ApJ 564, 97
- 12) Isobe N., et al., 2010, PASJ, submitted.