

R010-10

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

13:15~13:30

## RS CVn 型星の “X-10,000,000 クラス” 巨大フレア X 線観測における非平衡電離過程の調査

#栗原 明稀<sup>1,3)</sup>, 岩切 渉<sup>2)</sup>, 辻本 匡弘<sup>3)</sup>, 海老沢 研<sup>1,3)</sup>, 鳥海 森<sup>3)</sup>, 今田 晋亮<sup>1)</sup>, 坪井 陽子<sup>4)</sup>, 笛吹 一樹<sup>4)</sup>, Keith Gendreau<sup>5)</sup>, Zaven Arzoumanian<sup>5)</sup>

(<sup>1</sup> 東大, (<sup>2</sup> 千葉大, (<sup>3</sup> 宇宙研, (<sup>4</sup> 中央大, (<sup>5</sup> NASA GSFC

## X-ray Investigation of non-thermal plasma in “X10,000,000-class” flare of the RS CVn binary star

#Miki Kurihara<sup>1,3)</sup>, Wataru Iwakiri<sup>2)</sup>, Masahiro Tsujimoto<sup>3)</sup>, Ken Ebisawa<sup>1,3)</sup>, Shin Toriumi<sup>3)</sup>, Shinsuke Imada<sup>1)</sup>, Yohko Tsuboi<sup>4)</sup>, Kazuki Usui<sup>4)</sup>, Gendreau Keith<sup>5)</sup>, Arzoumanian Zaven<sup>5)</sup>

(<sup>1</sup>The University of Tokyo, (<sup>2</sup>Chiba University, (<sup>3</sup>ISAS, (<sup>4</sup>Chuo University, (<sup>5</sup>NASA GSFC

Flare phenomena in stars, including the Sun, are based on common physical processes, albeit on different scales. Insights of plasma heating and evolution gained from studying giant stellar flares, which are rare on the Sun, are expected to provide a deeper understanding of the flare mechanisms and their ripple effects on the surrounding environment. In this presentation, we focus on the non-equilibrium ionization (NEI) processes in plasma and report on the X-ray spectroscopic observations of a GOES X10,000,000-class flare that occurred in an RS CVn-type binary system.

In the case of sudden stellar flares, it is expected that in addition to the collisionally ionized equilibrium (CIE) plasma with a temperature of around  $T \sim 10^7 - 8$  K, which is the main component of X-ray emission, NEI plasma also exists. However, observational evidence for NEI in flares is still scarce. In solar flares, the time scale to reach CIE is very short, on the order of tens of seconds. On the other hand, in giant flares on active stars, longer time scales are expected, but capturing and analyzing sudden flares, whose occurrence location in the celestial sphere cannot be predicted, is challenging with a single X-ray instrument. We overcame this difficulty with the “MANGA (MAXI and NICER Ground Alert)” project, which started in June 2017. This system detects transient objects with the wide-field, low-sensitivity all-sky X-ray monitor MAXI, and then immediately follows up with high statistics X-ray observations using the narrow-field NICER instrument, both payloads on the International Space Station.

In our analysis, we focused on a flare event that occurred in UX Arietis (UX Ari), one of the representative success cases of MANGA, on August 17, 2020. Approximately 90 minutes after the detection by MAXI, NICER successfully conducted observations before the flare peak for the first time and continued to observe until the flare had significantly decayed, for about five days. In the 0.5-8 keV range, the peak X-ray luminosity was  $2 \times 10^{33}$  erg s<sup>-1</sup>, and the total X-ray emission energy during the flare was  $\sim 10^{38}$  erg. We investigated the possibility of NEI plasma by examining the intensity ratio variations of the Fe XXV He  $\alpha$  and Fe XXVI Ly  $\alpha$  emission lines. While the X-ray spectrum across the entire flare was consistent with a CIE plasma model, during the rising phase of the flare, the spectrum could also be explained by an ionizing plasma model that deviated from CIE. Additionally, we estimated the flare loop size to be  $3 \times 10^{11}$  cm and the peak electron density to be approximately  $4 \times 10^{10}$  cm<sup>-3</sup>.

太陽を含む恒星のフレア現象は、異なるスケールながら共通した物理過程に基づく。太陽では発生が稀な、巨大な恒星フレア研究から得られるプラズマの加熱・進化過程の知見は、フレアメカニズム、ひいては恒星周辺環境への波及効果についてより深い理解をもたらすと期待される。本講演では、特にプラズマの電離非平衡過程について焦点を当て、RS CVn 型連星で発生した GOES X-10,000,000 クラスフレアの X 線分光観測結果について報告する。

突発的な恒星フレアの現場においては、X 線放射の主成分となる  $T \sim 10^7 - 8$  K の衝突電離平衡 (CIE) プラズマに加え、電離非平衡プラズマの発生が予想される。しかし、その観測的な存在証拠は未だ乏しい。太陽フレアでは、電離平衡到達までの時間スケールが O(10 s) と非常に短いためである。一方、活動的な恒星による巨大フレアにおいては、より長い時間スケールが期待されるが、そもそも地球上のどこで発生するか予測できない突発的なフレアを捕捉し、詳細解析することが単一の X 線装置でできない。我々は 2017 年 6 月に開始した「MANGA (MAXI and NICER Ground Alert)」プロジェクトで後者の困難を克服することに成功した。これは、低感度だが広視野を持つ全天 X 線監視装置 MAXI で検出した突発天体を、狭視野ながら高統計 X 線観測ができる NICER 装置で即時追観測するシステムである。

解析では、MANGA の代表的な成功例である、おひつじ座 UX 星 (UX Ari) が 2020 年 8 月 17 日に起こしたフレアイベントを扱った。MAXI による検出の約 90 分後、NICER で初めてフレアピーク以前から観測を行うことに成功し、十分減衰するまで 5 日間ほど継続的に観測できた。0.5-8 keV 帯域において、ピーク時の X 線光度は  $2 \times 10^{33}$  erg s<sup>-1</sup>、フレア期間の X 線放出エネルギーは  $\sim 10^{38}$  erg であった。Fe XXV He  $\alpha$  および Fe XXVI Ly  $\alpha$  輝線の強度比の変動を調べることで、非平衡電離プラズマの可能性について検証した。X 線スペクトルはフレア全体で CIE プラズマモデルと整合していたが、フレアのフラックス上昇段階では、CIE から外れた Ionizing プラズマモデルでもスペクトルを説明できた。また、フレアループのサイズを  $3 \times 10^{11}$  cm、ピーク電子密度を約  $4 \times 10^{10}$  cm<sup>-3</sup> と推定した。