

論文の内容の要旨

本博士学位請求論文（以下、本論文とする）は、星の表面で起こる爆発現象「フレア」について、特に太陽フレアの最大規模に比べても桁違いに大きい「スーパーフレア」について統一的描像を得たものである。恒星のフレアは、規模が大きければ大きいほど、発生頻度が冪乗で低くなるため、検出が難しい。また、超巨大フレアでは、それを発生させる星と同じ体積程度のプラズマが瞬時に作られると考えられており、1億度以上にもものぼる超高温大規模フレアがどのような機構で発生するか、またそのプラズマの形状はどのようなになっているか、といった謎があった。特に、近接連星系は、巨大フレアを起こすサンプルとして知られているが、その発生機構は連星間の磁場の相互作用で起こるのではないかと、との説が提唱されていたが、その真偽はいまだ分かっていない。本論文では、90分ごとに全天のX線監視観測を行う「MAXI」の監視能力を用いて、発生頻度が低く、太陽フレアの最大規模に比べ6桁大きいものまでを含むスーパーフレアを探索し、その検出後すぐに、中央大学6号館屋上に2016年に設置された Spectroscopic Chuo-university Astronomical Telescope (SCAT) を用いて、追観測を行っている。このスタディから、フレア中の放射エネルギー、および光度の減衰のタイムスケールに関して、それぞれ9桁、および3桁にまたがる両帯域間での比例関係を得ている。これらは、星の半径より数倍以上大きな磁場構造から発生すると考えられる巨大フレアも、小規模な太陽フレアと本質的には同じ可能性が示唆され、この分野に貴重な知見を与えている。

一方で本論文では、中央大学6号館屋上に2013年に設置された Chuo-university Astronomical Telescope (CAT) による活動星の測光モニター観測も並行に行なっており、フレアの発生場所が、主星に存在する巨大黒点の場所と一致することを実証している。これはつまり、連星間をつなぐ磁場構造ではなく主星単独で大きな磁場構造を作っていることの実証であり、巨大フレアを頻発する近接連星におけるダイナモプロセスが、連星起源ではなく、単一の星で起こりうることを示した貴重な証拠となっている。

上記の成果は、SCAT および CAT において長期間にわたるモニター観測を行ったこと、かつ突発的なフレア発生に対処できる機動力の高い観測を行ったこと、で得られた。これら SCAT および CAT の両可視光観測システムは本論文の著者本人がリードして構築できたものである。さらに、X線によるフレア検出も、著者自身が MAXI チームに所属し、運用も日々行なったことによって、その発生初期から行えた。本論文では、これらの装置の性能評価なども成果として含まれている。

本論文では、規模の小さな太陽フレアから、桁違いに大規模な恒星フレアまで、起源を同一に考えることができる、という知見を与えている。また、距離が遠く、プラズマの生成や消滅過程を動画で見ることのできない巨大恒星フレアを、太陽フレアとのリンクで議論できる方法を生み出している。このように本論文はパイオニア的な成果を当該分野にもたらしている。

論文審査の結果の要旨

【論文の主題と当該分野における位置づけ】

本博士学位請求論文（以下、本論文とする）は、全天 X 線監視装置「MAXI」および中央大学可視分光用望遠鏡「SCAT (Spectroscopic Chuo-university Astronomical Telescope)」によって、恒星フレアの中でも最大規模のフレア群の同時観測の結果を報告している。この同時観測によって、フレア中の放射エネルギー、および光度の減衰のタイムスケールに関して両帯域で比例関係があること、またそれらが、それぞれ 9 桁、および 3 桁にまたがって続いていることを明らかにしている。本論文ではさらに、中央大学可視光測光用望遠鏡「CAT (Chuo-university Astronomical Telescope)」による静穏時のモニター観測結果も報告し、多波長観測のデータから総合的に巨大フレアの発生場所、プラズマループのサイズ、幾何に制限を与えている。

【論文の構成】

本論文の構成は以下の通りである。1 章では本論文の背景と意義をまとめている。2 章では本論文で用いた観測機器の概要をまとめている。3 章では本論文で行ったフレアの多波長同時観測の方法と各フレアの物理量の導出法をまとめている。4 章では X 線および H α 線の二帯域間で得られた (1)フレア中の放射エネルギー、(2)光度の減衰のタイムスケール、それぞれの比例関係について述べ、各波長の発生領域の幾何およびサイズについて、静穏時のモニター観測の結果も用いながら制限を与えている。5 章では得られた結果についてのまとめが述べられている。付録 A、付録 B、付録 C では、X 線および H α 線の二帯域における放射エネルギーおよび減衰のタイムスケールの導出法、活動星の H α 線等価幅のモニター曲線、フレア時における H α 線等価幅のバックグラウンド（静穏時でも見えている分の H α 線等価幅）の見積もり方、をそれぞれまとめている。

【論文の独自性や成果】

恒星フレアでは、太陽フレアと同じく、高温プラズマが瞬時に作られることが知られてきた。しかし、距離の近い太陽と違い、恒星におけるフレアではプラズマの生成や消滅を動画で追うことはできない。本論文では全天 X 線監視装置「MAXI」を用いたリアルタイムでの巨大フレア探査を行い、フレアが確認されると直ちに「SCAT」による追観測を行ない、巨大フレアの幾何、サイズ、などの空間情報を総合的に得ることに成功した。さらに「CAT」による成果も併せることにより、特に、連星間での磁場再結合がその起源として提唱されてきた、近接連星系における巨大フレアが、主星のみで起こりうるという、貴重な証拠も得ている。フレアは規模が大きくなるほど発生頻度は低くなる。今回、非常に貴重な巨大フレアの同時観測サンプルを得ることにより、フレア中の放射エネルギー、および光度の減衰のタイムスケールに関して、それぞれ 9 桁、および 3 桁にまたがる 2 つの帯域でのパラメータの比例関係も初めて得ており、独自性が高いといえる。

【論文の評価・論文の課題】

上で述べた本論文の成果は、動画を得ることのできない巨大恒星フレアを太陽フレアからのリンクで議論できる方法を生み出したことを意味し、当該分野で極めて重要な方向性を開拓している。著者は、用いた SCAT および CAT の立ち上げをほぼ一人で成し遂げ、機動力の高い観測体制を構築した。これがこの貴重な観測結果を導いたことに直結したとあってよい。このように、本論文は新たな方法の確立やテーマの発掘も含んでおり、博士学位請求論文として十分な内容を有していると結論することができる。