

氏名	はまぐちけんじ 濱口健二
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2292号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	X-ray Study of the Intermediate Mass Young Stars Herbig Ae/Be Stars (若き中質量星ハービック Ae/Be 星の X 線による研究)
論文調査委員	(主査) 教授 小山勝二 教授 西川公一郎 教授 谷森 達

### 論文内容の要旨

核燃焼期(主系列)に入った太陽より重い星( $2M_{\odot}$ – $10M_{\odot}$ )は一般にX線活動を示さない。これは、太陽程度の小質量星で見られる磁場活動、極めて重い星( $>10M_{\odot}$ )で見られるUV放射による強力な星風活動のいずれの機構も働かないためである。このような星の核燃焼前段階は Herbig Ae/Be 星(HAeBe 星)と分類され、星の構造論では同じようにX線放射機構を持たないと考えられてきた。しかし過去の観測では、これらの星から明るく高温のX線放射が観測されている。X線光度と星の物理量の関係にはこれまで有意な相関が見出されていず、そのX線放射機構は大きな謎とされている。本論文ではX線衛星「あすか」の観測データを用い、これまで情報に乏しかったプラズマ温度と時間変動性の両側面から HAeBe 星のX線の放射起源に迫る。そしてそれがいかに主系列星のX線放射へと進化していくのか、その系譜を明らかにした。

申請者は「あすか」の過去の観測データを調べ、39個の HAeBe 星を含む42観測領域を解析、15天体からX線を検出した。そのX線光度は  $10^{30-32} \text{ergs s}^{-1}$  と小質量星と比べて有意に高い値となり、小質量伴星がX線の起源となっている可能性は低いと考えられる。一方、全1000cts以上の十分統計をかせいだ天体のほとんどが、時間変動性を示した。特にうち3天体(MWC297, TY CrA, VY Mon)は小質量星のフレアに良く似たゆっくり減衰する変動を、1天体(HR 6000)は早い立ち上がり立ち下がりといった特異であるが顕著な変動を示した。他方、検出されたいずれの天体のスペクトルも、吸収のなかった一ないし二温度の熱的放射(MeKaL)モデルで再現できた。そのプラズマ温度は1–5keVに渡り、OB型主系列星で見られるものより有意に高かった。

そこで HAeBe 星のX線放射起源として考えられうるX線放射機構—星風衝撃波、降着流衝撃波、磁気圏と星風の相互作用そして磁場活動—を検証した。前者二つのモデルに関しては、星風ないし降着ガスの運動エネルギーが観測された高温ガスを産み出せず、第三のモデルは HAeBe 星の星周構造がモデルの条件を見たさずあり得ないと分かった。一方、四番目の磁気活動は、HAeBe 星のX線の時間変動性・プラズマ温度のいずれの特徴も小質量星と類似するため、有力な放射起源と思われる。そこで、太陽的な磁場増幅機構の指標となる星の自転速度とX線光度の関係を調べたが、両者に有意な相関は見られなかった。その他の磁場生成起源が働いていると予想されるため、それを特定すべく磁場の規模とX線活動の進化についてさらに調査した。磁場の規模に関しては、X線フレアの減衰が高温プラズマの放射冷却過程であるという前提の基、高温プラズマが太陽よりも大きいスケールを持つという示唆を得た。X線活動の進化に関しては若い星ほど高温のプラズマを持つ—すなわち活発な活動をしている—という傾向を、吸収量から求めた水素柱密度を星の若さの指標とする事で見出した。X線光度に関しては星の質量により依存している傾向が見られたため、ローサット・アインシュタイン衛星による過去の結果を合わせて HR 図上でその値を比較した。その結果、 $10^6$ 年より歳をとった星ではX線光度が急激に減少するはっきりとした傾向を見つけた。この年齢は可視・赤外線や電波で観測される、星からのジェット現象の上限値とほぼ一致する。これらの結果から、申請者は小質量原始星で提唱されているような、星と星周円盤をつなぐ共磁場構造が、HAeBe 星の磁場活動の起源である可能性を提示した。

スペクトル型がB以上の星では、 $10^6$ 年より若い段階で星の中心部に核燃焼の火がともる。この事から重い星では、主系列に達しても比較的若いものは磁場活動を存続すると推測できる。ローサット衛星による全OB型星の観測では、主系列OB型星からのX線はBI型まで星風起源に特有なX線の特徴を示すが、それより以下ではその関係が見られなかった。申請者はこの結果とHAeBe星のX線とを比較、BI型以降の星からのX線は前主系列段階の磁場活動の名残を見ている可能性を示唆した。またBI以上の極めて重い星のスペクトルとも比較、スペクトル中の硬X線テイル成分が同様の磁場起源であると提示した。その一方で、HAeBe星より若い生まれた直後の星があるとされる巨大分子雲コア(Monoceros R2)がらも硬X線源を検出し、星の最も若い段階では更に活発な磁場活動を繰り返している可能性を示した。申請者は以上の事から、星は生まれた当初から $10^6$ 歳程度まで、星円盤共磁場活動を起源とする活発なX線活動を行ない、それ以降はBI型以上の極めて重い星は星風起源のX線活動を、太陽程度の小質量星は星本体での磁場活動を存続するという統一描像を展開した。

### 論文審査の結果の要旨

「あすか」衛星による核燃焼前の小質量星、特に原始星と呼ばれる星形成の極めて初期の段階のX線検出が近年話題とされ、多くの研究者がその観測ならびに研究に奔走している。申請者はこの流れに惑わされる事なくさらに広い視点から、現時点ではさほど注目を集めていないものの、重要な問題である中質量前主系列星からのX線放射について追求しており、その着想の深さを窺わせている。過去のX線衛星でもこれらの星のサーベイは行なわれているが、結果は限られたサンプルに対するX線光度の相関の評価に留まっており、プラズマ温度・時間変動性の重要性を示した点だけでも、本研究は十分な評価を与える事ができるであろう。

「あすか」は上記目的を可能とする初めての衛星で、新たな物理情報を提示する意味でも、申請者の解析結果は注目に値する。解析手法で優れた事に、空間分解能が高くない「あすか」の短所をローサット衛星のイメージを併用して補った点がまず挙げられる。その上で、「あすか」の持つ情報を最大限抽出するよう、個々の天体に最適化したスペクトル・時間解析を行ない、さらに星の物理量に関して、多くの論文を参照して最も妥当な結果を採用している。この点から申請者が出した結果は現時点で最も高い信頼性を持つと考えられる。申請論文では、これらの結果に対して様々な角度から緻密な議論を重ね、最終的には磁場活動起源以外に妥当なX線の起源は存在しないという、今までの常識を覆す驚くべき結論を下した。そして太陽的な磁場活動が成立しないと示した上で、代替となる磁場増幅機構にまで言及し、ついには星円盤共磁場構造という若い星に特有な魅力的な機構を提示している。

特筆すべき点は、中質量前主系列星からと主系列星からのX線を比較することにより、前主系列段階から主系列にかけての高エネルギー活動に関する統一描像を展開した点にある。この描像により、大質量星からのX線に関して十数年来、示されてきた問題点、

- (i). B型星のX線の起源—何故X線検出率が低いのか、全放射光度に対するX線光度のばらつきが大きいのか。
- (ii). O型星の硬X線成分の起源—見えるものと見えないものがあるのは何故かに対して最も自然かつ明確な解釈を提示している。これらの問題は今まで別々な視点から考察されるのみであったが、申請者は全て磁場活動の進化の1側面を見ているに過ぎないとする優れた洞察を下した。この描像は申請者が指摘するように、大中質量星で報告された理解しがたかった現象—ローサット衛星によるB型星からのフレアの発見、チャンドラ衛星の高波長分解観測によるO型星上のX線磁場活動の発見—をも素直に説明出来る。大中質量星は星の構造論から磁場増幅活動はあり得ず、したがって磁場活動的な特徴は全て近くにある小質量星を見ているとする一面的な見方が常になされてきた。この見方に対して申請者は警鐘をならし、進化と言う新たな視点から星の高エネルギー活動を追求している。申請者が導き出した結論は、今後星からのX線活動の起源を論じる上で基本となる、重要な結果であると言って過言ではないだろう。

以上の事を鑑みるに、本申請論文は博士(理学)の学位論文として充分の質を備えていると判断される。よって主論文並びに参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問合格と認めた。