

氏 名	いまにしけんすけ 今西健介
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2589 号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 24 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 Low-mass Young Stellar Objects in the ρ Ophiuchi Star-forming Region with <i>Chandra</i> (チャンドラ衛星によるへびつかい座 ρ 星形成領域内の小質量前主系列星からの X 線の研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 山 勝 二 教 授 谷 森 達 教 授 中 村 卓 史

論 文 内 容 の 要 旨

星は低温(数 10K)の星間ガスやダストの収縮によって誕生し、前主系列段階(Young Stellar Object=YSO)を経て現在の太陽のように主系列星に進化する。YSO 後期段階である「おうし座 T 型星」は光・赤外線波長で詳細に観測されており、そこから主系列に至る過程は理論も含めて良く理解されている。一方、YSO 前期段階である「原始星」は、最も激しい動的降着の場であり星形成の上でも最重要段階であるにも関わらず、非常に濃い星間物質に覆われているため比較的透過力の高い近赤外線でも直接観測することは不可能である。

赤外線を凌ぐ透過力を持つ X 線は、原始星を直接観測出来る可能性を持つ唯一の電磁波である。日本の X 線天文衛星「あすか」は、中でも透過力の優れた硬 X 線(2keV 以上)の高い感度を生かし、いくつかの原始星付近から X 線放射を発見した。その特徴は主系列星(太陽)やおうし座 T 型星と同様、(1)温度1000万度程度の高温プラズマを示すスペクトル、(2)激しく増光と減衰を繰り返す、であり、「フレア」と呼ばれる「磁気再結合」による磁場エネルギーの解放現象を起こしていることを示唆する。しかし「あすか」は空間分解能に乏しく、本当に X 線は原始星から出ているのか、一部の限られた条件でしか原始星は X 線を放射しないのか、あるいは原始星と主系列、おうし座 T 型星のフレアの間にどのような差異があるか、などといった情報は得ることが出来ず、原始星の状態に迫るには至らなかった。

上記課題を解消すべく、申請者は高い空間分解能(0.5秒角)と硬 X 線まで十分な感度を併せ持つ米国「チャンドラ」衛星を用いて近傍のへびつかい座 ρ 星形成領域(ρ Oph)を観測し、YSO、特に原始星からの X 線の系統的研究を行った。長時間(10万秒)に渡る 2 回の観測から195個の X 線天体が検出され、赤外線天体との対応からうち約 2/3 が YSO(またはそれに準ずるもの)からの X 線放射であることが分った。特に約70%(24/34)という高い検出率で原始星から X 線を発見し、「原始星は普遍的に X 線天体である」という描像を初めて確立した。また視野中に存在していた複数の褐色矮星(極小質量星)からも初めて X 線を検出した。全体の 1/3 になる赤外線対応のない天体については、その特徴から多くは銀河系内の天体であると予測した。しかし一部は、その特徴から新発見の YSO 起源の可能性がある。

申請者は全ての X 線天体に対し時間変動解析を行い、計71個の X 線フレアを検出した。また、フレアの時間帯とその他に分け X 線スペクトルを作成し、プラズマ温度、X 線強度、吸収量といった基本的な観測パラメータを導出した。大多数のスペクトルは金属組成比が太陽の0.3倍の単温度プラズマモデルで良く再現されたが、いくつかは特異な性質(2温度成分、非熱的放射、金属量過多など)を有していた。特に原始星 YLW16A は巨大フレア中に、YSO からは初となる中性鉄からの 6.4keV 輝線放射を見せた。これら解析結果を元に、申請者は ρ Oph における過去最大、最高質の X 線天体カタログを作成した。これはあらゆる波長の観測においても指針となるべきデータベースとして今後も重要である。

申請者は更に、この過去に例のない最大のフレアのサンプルに着目し、その系統的解析を行った。結果、以下のような新しい傾向を見出した。

(1)若い天体(原始星)のフレアで、プラズマ温度が高く(～5000万度)立ち上り時間が短い(～3000秒;おうし座 T 型星

では ~ 3000 万度と ~ 7000 秒)。

(2)フレアの立ち上がり時間と減衰時間の間に正の相関がある。

(3)プラズマ温度と立ち上がり時間に負の相関がある。

申請者は磁気再結合理論やシミュレーションの結果を用い、以上の観測事実は、

(1)太陽 ($\sim 10^9 \text{cm}^{-3}$) より高密度 ($\sim 10^{11} \text{cm}^{-3}$) の環境。

(2)YSO の進化段階に関係なく、星のサイズ程度の磁気ループ ($10^{10} - 10^{11} \text{cm}$)。

(3)原始星ではおうし座 T 型星や主系列星よりも磁場が強い (原始星: $\sim 500 \text{G}$, おうし座 T 型星 $\sim$ 主系列星: $100 - 300 \text{G}$)。

という事で説明が付く、という解釈を与えた。

論文審査の結果の要旨

星の進化に関する研究は、可視光・赤外線・電波による前主系列星 (YSO) の観測と理論によりこの数10年で大きく進歩した。しかし、星間物質から激しい動的降着により誕生する「原始星」(YSO 前期) は、周辺の高密物質に厚く覆われているため直接観測することは出来ず、そのため研究対象として大きく立ち後れていた。そのような背景を認識し、原始星の唯一の観測手段として透過力の優れた硬 X 線 (2keV 以上) に着目した点に、本論文の最大の独自性が存在する。

YSO は一般に非常に狭い範囲に密集して存在しているため、高い空間分解能による観測が何よりも必要とされる。申請者は、過去最高の空間分解能 (0.5 秒角) を誇る「チャンドラ」X 線天文衛星が最適の観測手段であると判断し、これを用いて近傍のへびつかい座 ρ 星形成領域を観測した。2 度の長時間観測 (10 万秒 $\times 2$) により約 70% ($24/34$) の原始星から X 線放射を発見、「原始星は普遍的に X 線放射源である」という描像を初めて確立した。また、視野中の複数の褐色矮星 (極小質量星) から有意な X 線を検出した。これらは、申請者の着眼点が確かなものであったことを如実に物語るのみならず、「X 線による原始星 (褐色矮星) 研究」という新たな研究分野を切り開いたという意味で画期的かつ独創的である。

申請者は上記の特殊な天体も含めた計 195 個の X 線天体に対し系統的な解析を行った。過去の多波長観測との対応から X 線天体の種族分類を行い、時間変動・スペクトル情報といった基本パラメータを導出、カタログとしてまとめた。この過去最大かつ最高質の X 線天体カタログは、今後のへびつかい座 ρ 分子雲のあらゆる観測・理論研究にとって重要な情報を与えるデータベースとして活用されることは間違いなく、それだけでも本論文の周辺研究分野に与える価値は十分に高いと判断できる。

さらに申請者は「フレア」と呼ばれる激しい増光・減光現象に注目した。全ての天体種族から計 71 個のフレアを検出し、

(1)若い天体 (原始星) でプラズマ温度が高くフレアの立ち上がり時間が短い、

(2)立ち上がり時間と減衰時間に正の相関がある、

(3)プラズマ温度と立ち上がり時間に負の相関がある、

といった傾向を初めて発見した。理論計算やシミュレーション結果と比較し、この観測事実は、「若い天体で磁場が強い」ということを示唆する、という結論を与えた。特に「立ち上がり時間」というこれまで使用されることのなかった観測パラメータに注目し、新たな視点に立ってデータを解釈した申請者の研究姿勢は評価に値する。

本論文では上記のような総括的結論に留まらず、「原始星からの初の中性鉄輝線放射」、「YSO の高温プラズマの元素組成の解明」、「X 線による新 YSO 候補の探索」、といった様々な新結果が含まれる。いずれもが 1 つの論文としても十分価値のあるものであり、フレア解析のみならず多種多様な手法で X 線により YSO 状態解明に迫れる可能性を秘めている重要な結果であるといえる。また、限られた観測データからいくつもの新発見を導出した申請者の探求心は特筆すべきものである。

このように本申請論文は、「チャンドラ」衛星の特徴を最大限生かし、星の誕生極初期段階の研究における多岐に渡る新たな知見を与えた独創的なものであると結論づけられる。またこれらの結果は、太陽など主系列星観測、磁気流体力学の理論やシミュレーション、実験室プラズマ物理などの多種多様な分野との相互研究にもつながることが期待され、X 線天文学に留まらない今後の幅広い可能性を秘めている。よって本申請論文は博士 (理学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

主論文及び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し，合格と認めた。