

氏 名	つじもと まさひろ 辻 本 匡 弘
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2598 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	A Multi-wavelength Study on the X-ray Emissions from Young Stellar Objects in Orion Molecular Cloud 2 & 3 (オリオン分子雲 2, 3 における前主系列星からの X 線放射の多波長観測的研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 小山勝二 教授 谷森 達 教授 小玉英雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

中心部で核融合をおこす(主系列星)以前の恒星, 即ち「前主系列星」は, 非常に活発な X 線放射を伴う天体種族である。これまでの研究は, 年齢が10,000年以上で, 太陽の0.2~2.0倍の質量を持つ小質量前主系列星を中心に進められてきた。これらの天体は, 温度が数 10MK の熱的プラズマ放射を持ち, 太陽のフレア現象と類似した X 線強度変動(速い立ち上がり, 遅い減衰)を示す。故に小質量前主系列星からの X 線放射は, 太陽フレアと同じく, 星表面での瞬間的な磁力線の再結合によるプラズマ生成を起源とすると考えられている。

申請者は本論文で新世紀の X 線衛星を用いて, これまで観測が難しかった2.0太陽質量以上, 0.2太陽質量以下, あるいは年齢が10,000年以前の前主系列星の X 線放射の有無, そしてその性質を系統的に調べた。また, フレア以外の X 線放射機構の可能性も探っている。これにより, 幅広い質量域, 年齢層にわたる前主系列星からの X 線放射の多様性を初めて明らかにした。オリオン分子雲 2・3 (OMC-2/3) を探査領域に選び, 多波長観測手法を用いて研究を進めた。

申請者は同領域で, 「チャンドラ」X 線望遠鏡を用いた X 線撮像・分光観測, 及びハワイ大学88インチ望遠鏡を用いた近赤外線撮像観測を行い, 385個の X 線天体と1448個の近赤外線天体を検出した。X 線天体は, 近赤外線天体との同定がある278個(近赤外対応 X 線天体)と, 同定がない107個(近赤外非対応 X 線天体)に分別した。

近赤外線の明るさから, 近赤外対応 X 線天体の殆ど全てが OMC-2/3 に属することを明らかにした。近赤外対応 X 線天体に対し, 近赤外線データから質量と年齢, 全放射光度を求めた。また X 線データから時間変動性と X 線放射プラズマ諸量(プラズマ温度, 放射量, X 線光度, 星間吸収量)を導出した。これらの天体を大質量(10.0太陽質量以上), 中質量(2.0~10.0太陽質量), 小質量(0.2~2.0太陽質量), 極小質量(0.2太陽質量以下)に分けそれぞれの質量域での X 線検出率と平均 X 線放射諸量を比較したところ, (1)中質量前主系列星が X 線放射天体であること, (2)中質量以下の天体は全て同じ X 線放射機構を持つことを示唆した。更に, これらの天体の X 線放射が(3)プラズマ温度約 10MK の低温成分と約 20~30MK の高温成分の重ね合わせであり, (4) X 線強度の時間変動が高温成分にのみ見られることが分った。太陽や他の主系列星のプラズマ温度構造と比較することにより, (5)低温成分がコロナ, 高温成分がフレアを起源とし, (6)前主系列から主系列星にかけて, 年齢と共にコロナ, フレアの活動が衰えていくという描像を提唱した。

一方, 殆どの近赤外非対応 X 線天体は, OMC-2/3 と同方向にある銀河系外の天体だが, 約10個は, 星形成の母体となる分子雲に添った空間分布を示すことから, 星形成に関わる X 線放射であると推察した。申請者はハワイ大学88インチ望遠鏡を用いた水素分子輝線の追観測により, 前主系列星から放出される物質流(アウトフロー)を撮像した。その結果, 10天体のうち4天体がアウトフローに付随することを明らかにした。そのうちの1天体に対し, すばる望遠鏡, NASA IRTF 望遠鏡, そして VLA 電波干渉計を用いてアウトフローとジェットのプロパティを探査を行い, 前主系列星の数秒角スケールでの X 線から電波にわたる構造を初めて明らかにした。各電磁波帯域での放射源の位置と強度から, (7)前主系列星からのジェットが周辺の物質と衝突して X 線放射プラズマを生成するという説を初めて唱えた。残る6天体は, (8)これまで観測され

てきた前主系列星よりずっと若い天体である可能性を示唆した。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、前主系列星からの X 線放射に関する多彩なテーマを、良質かつ十分なデータを用いて取り組んだ、博士論文に相応しい力強い論文である。論文内容の要旨に示した(1)~(8)の結論は、いずれもが重要かつ本論文で初めて提示された独自のものである。

まず申請者は、(1)により中質量前主系列星が X 線放射を伴うことを定量的に示した。中質量の主系列星が X 線放射を伴わないことを考えると、前主系列から主系列への進化（これは一義的には恒星の内部構造の変化であり、直接観測することはできない）が X 線放射の有無で追える事を意味する。他波長の観測では中~大質量天体の初期進化の描像が得られずにいる現在、この結果は X 線観測に基く新たな展開を生み出す礎となろう。(2)では、中質量から極小質量の前主系列星の X 線放射を統一的に理解できることを示した。(3)、(4)は、X 線プラズマの温度構造（2 温度性）を初めて陽に扱った結果である。これまでの「チャンドラ」衛星による論文は、全て 1 温度プラズマで近似した X 線分光解析の結果しか提示していないことを考慮すると、この結果の重要性が際立つ。(5)、(6)では更に、X 線プラズマの放射起源を、太陽を含む主系列星と比較することにより明らかにした。前主系列星の X 線放射は太陽フレアの拡張だけで説明できる、という一般的な理解を超える成果である。(7)の結果で申請者は、原始星が X 線プラズマを生成するほどの高速ジェットを有する可能性を示唆した。最後に(8)は、近赤外線観測でも検出できないほどの濃いガス雲に埋もれた前主系列星を、更に透過力の強い X 線で検出した事を示唆したものである。星形成の最も早い段階を捕らえる技術として、X 線観測の果たす重要性が今後飛躍的に増大することを告げる成果と言えよう。

本論文で実行した OMC-2/3 領域での X 線及び近赤外線観測は、過去最高の感度を持つ。得られた天体数は、X 線が約 398 個、近赤外線が約 1448 個に及ぶ膨大なものである。このうち約半数は、本論文によって初めて新天体として提示された。他の星形成領域においても、本論文で扱うデータの感度、視野に匹敵する X 線、近赤外線観測は極めて稀であり、付属する点源リストの資料的価値は高い。また、これらの点源を単なる集合として扱うのではなく、1 つ 1 つの天体の個性を意識しながら解析を進めている点が評価できる。

申請者の確かなデータ解析の技術を、申請論文の随所に伺うことができる。ハワイ大学 88 インチ望遠鏡を用いて得られた近赤外線イメージから近赤外線源を抽出する際には、一般に用いられる方法とは異なる点源抽出アルゴリズムを適用し、拡散放射に埋もれた点源を効率よく見いだした。また、本論文で独自に用いられた X 線天体と近赤外線天体の対応関係を得る手法は、両波長イメージの空間分解能がほぼ同程度になった今日では必要かつ有効である。この手法により、本論文では、最近接近赤外線源に 1 秒角しか離れていない X 線源を、近赤外線「非」対応 X 線源と断定することができたのである。

本論文で展開された多波長観測に基づく研究手法は、極めて独自性が高いものである。電波から X 線まで 8 桁の電磁波帯域にわたるデータを、申請者自身が観測計画立案、観測、データ解析、そして結果の出版まで手がけた本論文は、他に例を見ない。本論文の公表時に隣接領域に与える影響は大きいと容易に想像される。更に、本論文で用いた観測波長、望遠鏡、装置の選定には、申請者の着眼点が如実に表れており、秀逸である。星形成領域に特徴的な星間吸収による激しい減光と過密な天体分布を考慮し、透過力が高い電磁波帯域で空間分解能の十分高い観測を、最適な望遠鏡と装置の組み合わせで行った。X 線フラックスが  $10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  を下回る天体の探査は「チャンドラ」望遠鏡以外では為し得ず、また I128aX 線天体からのアウトフローとジェットの検出には、それぞれすばる望遠鏡と VLA 望遠鏡の高感度、高空間分解能観測が不可欠である。

本申請論文は博士（理学）の学位論文として、十分価値あるものとする。主論文およ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の口頭試問を行い、合格と認めた。