

氏 名 坪 井 陽 子
 学位(専攻分野) 博士(理学)
 学位記番号 理博第2026号
 学位授与の日付 平成11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 Hard X-ray Probing of Dark Clouds: Protostar Structure and the Magnetic Activities

(硬X線による暗黒星雲の探査：原始星の構造とその磁氣的活動)

(主査)

論文調査委員 教授 小山勝二 教授 笹尾 登 教授 舞原俊憲

論 文 内 容 の 要 旨

原始星とは星間ガスの動的降着期にある中心天体で、星の芯が急激に成長しつつある星誕生の動乱期である。分子雲コアと降着ガスは遠赤外からミリ波の波長域で観測される。しかしこれら(分子雲コアと降着ガス)は原始星そのものを厚く包み、中心星およびその誕生プロセスは可視光ではもちろん近赤外でも直接観測することはできなかった。

申請者は「あすか」衛星の透過力の強い硬X線バンド(2-10keV)に着目し、暗黒星雲17視野における原始星探査を行なった。その結果この硬X線バンドで、暗黒星雲深くに埋もれ全波長を通じて検出できなかった原始星本体の30%をS/N>5のレベルで初めて検出した。特にOrionのOMC 2-3領域では原始星の中でも極めて若いClass 0天体近傍からのX線検出に初めて成功した。

申請者はX線検出の有無は何で決まるかを探るため「あすか」でX線検出した原始星の分子流観測に参加した。その結果観測した5つの原始星のうち4つから分子流を検出し、「あすか」で検出できる原始星は確かに分子流を有する程度に若いことを確認した。それらの分子流は赤方偏移と青方偏移のlobeとが大きく重なったpole onの特徴を示し、edge onの特徴を示すものはないことを明らかにした。逆にX線で検出できなかった原始星候補の分子流構造を他の論文から調べ、それらがedge onの特徴を持ちpole onを示すものはないことを確認した。こうして、吸収の少ないpole on方向から見た原始星のみがX線で観測される、つまり原始星からのX線の有無はSeyfert銀河のように幾何学的配置によって決まるという「統一モデル」を初めて提唱した。

申請者は原始星のスペクトルが高電離の鉄から放射される輝線を伴うthin thermal plasma modelで良く合うことを示し、太陽を含む低質量星の典型的スペクトルと矛盾ないことを発見した。

定常的に放射されるX線(定常X線)の長期的変動と周期1日の正弦波の変動を発見した。後者にスペクトル変化が伴わないことを示し、自転によるActive Spotsの面積変化と解釈した。約1日の自転周期は低質量星の他の進化段階と比べ明らかに速いことから(太陽~28日, T Tauri型星後期~3日, T Tauri型星前期~1週間)、収縮の際降着物質の角運動量が多量に星に持ち込まれた可能性を初めて示唆した。自転周期を1日と考え、他の低質量星で一般に成り立つ回転速度vsX線輝度の上に原始星をプロットし、同一の関係上にあることを確認した。以上のスペクトル、および回転速度vsX線輝度の関係の類似性から、原始星の定常X線は他の低質量星のX線ではほぼ確立された磁場起源だと導いた。

原始星から複数の大規模フレアを発見した。これらをkT vs Emission Measureのダイアグラムにプロットし、低質量星のフレアでuniversalに成り立つ関係(Shibata&Yokoyama1998)上にあることを確認し、原始星のフレアが磁場起源で発生することの間接的証拠を得た。原始星(YLW15)から20時間おきに発生する準周期的フレアを発見し、太陽フレアの類推から各フレアのループの長さを太陽半径の約10倍と見積もった。フレアの周期と巨大なループの長さから星と円盤間での磁気リコネクションの可能性が強いことを示唆し、角運動量輸送と原始星の構造に制限を与えた。

論文審査の結果の要旨

星の構造及び進化に関する我々の理解は、ここ数十年で大幅に進んだ。原子核物理に基礎をおく恒星進化論と、多年にわたって蓄積された多数の星の可視光での観測資料の解析がその基礎となり、電波、赤外の分光学の前進によってさらに理解は加速した。しかし、主系列星が星間ガスから生まれるプロセスについては大きく立ち遅れていた。その背景として、星誕生のプロセスは可視光で探ることのできない濃密なダストの奥深くで進行していることが指摘される。星間ガスの動的降着期にあたる原始星段階においては、中心星からの光は周りのエンベロープやdiskによって吸収され、観測不能であった。また赤外や電波で観測されるのはむしろ原始星本体を包むダストからの放射である。

申請者は「あすか」衛星の硬X線バンド ($> 2 \text{ keV}$) を生かして、暗黒星雲深くに埋もれ全波長を通じて検出できなかった原始星本体を初めて検出した。これは、T Tauri星段階までで留まっていたX線天文のFrontierを原始星段階まで押し進めた先駆的発見であると同時に、他の電磁波長ではできない、原始星本体に迫るX線の有効性を明示した画期的な成果であり、その研究方法と独自性は評価に値する。特に原始星のなかでも最も若い段階であり星周エンベロープの温度 $10\sim 30\text{K}$ の単一黒体放射のみが観測されるClass 0天体からのX線の発見は、中心星の存在を直接示す今までにない証拠といえ、「星はそのエンベロープ内にいつ核を作るか」という星生成における最重要課題に答えを与えるものである。

申請者は双極分子流観測を行なうことによって、原始星のX線検出の有無が分子流の幾何で決まることを示唆した。これは原始星が普遍的にX線放射していることを示した画期的な成果であるとともに、これまで用いられてきた赤外～電波帯域のスペクトルによる進化の分類に「分子流の方向性」という概念が考えられていないことを警鐘するユニークな結果である。

申請者は、原始星から正弦波的なX線強度変動を発見し、原始星の自転周期をX線で決めることができる可能性を明らかにした。又、その周期が他の進化段階に比べて短いこと、降着物質から多量に角運動量が持ち込まれた可能性があることを示した。分子雲の塊は角運動量を捨て去ることによって収縮する。ガス収縮の速度、形態は角運動量をどれだけ持ち込み、いかに捨てるかによって大きく規定される。原始星の自転周期は収縮の際に星に持ち込まれた角運動量そのものであり、今後の原始星コア形成過程解明のための突破口を見出したという点で特筆に値する。

申請者はいくつかの原始星のフレアを発見し、スペクトル、温度とエミッションメジャーの相関から磁場起源の間接的証拠を得た。原始星YLW15からは20時間おきに発生する準周期的フレアを発見し、太陽フレアの類推から各フレアのループの長さを太陽半径の約10倍と見積もった。このループの長さからフレアの周期(20時間)とから、星と円盤間の差動回転による磁気リコネクションによってフレアが発生した可能性が強いことを示唆し、磁場を介した星への降着、角運動量輸送と原始星近傍の構造に制限を与えている。

このように本申請論文は「あすか」の特徴を最大限に生かして原始星の磁場活動、X線の周期的変動と角運動量の検出(～自転、～円盤の回転)など、星の収縮過程の研究における新分野を開拓した独創性ある研究結果といえ、周辺分野に大きく波及効果を与えるものと考えられる。よって本申請論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。

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口頭試問し合格と認められた。