クラス 0 原始星からの X 線放射の発見

濱　口　健　二

〈NASA, Goddard Space Flight Center, Exploration of the Universe Division, Code 662.0, Greenbelt, MD 20771, USA〉
e-mail: kenji@milkyway.gsfc.nasa.gov

ヨーロッパ宇宙機関の X 線望遠鏡衛星，XMM ニュートンによる 2003 年 3 月の観測で，みなみのかんむり座 R 星分子雲から，極めて強い吸収を受けた X 線天体を検出した．IRS7B と同定されたこの X 線源は，X 線や赤外線，サブミリ波の特徴から，生まれてわずか 1–10 万年後のクラス 0 原始星ないしそれに極めて近い若い天体と考えられる．観測された X 線スペクトルから，数千万度という超高温プラズマが，この生まれて間もない星で作り出されていることが分かった．星周ガスを寄せ集めて星を形成する過程での，大規模な高エネルギー磁場活動を見ているのかもしれない．

1.　発　　見

「何かいるねぇ」．7 年間待ち続けた X 線の輝きを見つけた瞬間の一言は，意外にあっけなかった．傍目には“にや”としていたのかもしれないが，その真相は不明である．

今回発見した天体は，クラス 0 原始星と分類される，X 線でこれまで見た最も若い胎児の星である．正確な質量は求められていないが，おそらく太陽程度の小質量星であろう．まずは，小質量星の誕生過程をおさらいしよう．

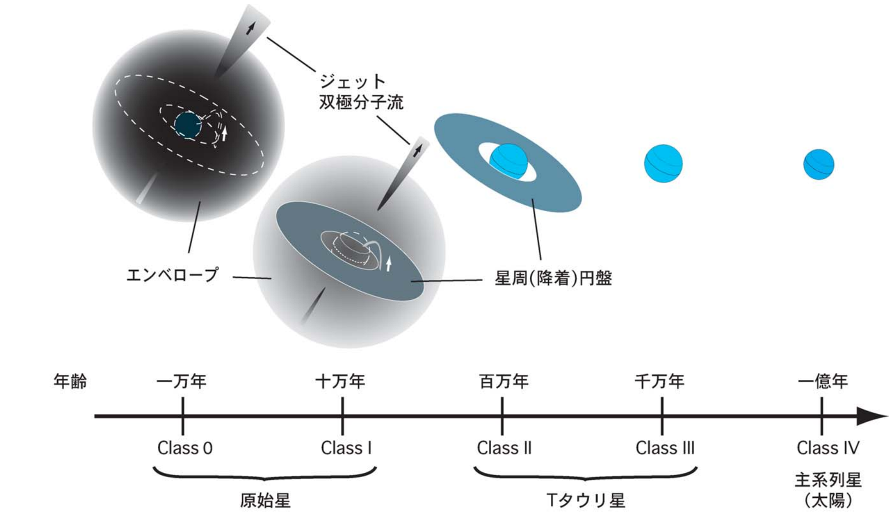
2.　小質量星の進化と超高温活動

星は自己重力でガスが寄せ集まって誕生する．種となるガス球（今後中心星と呼ぶ）が分子雲の奥底でできると，その重力で周りのガスを取り込んで成長していく（これを降着と呼ぶ）．引き込まれるガスは角運動量をもつので，まっすぐ中心星には落ち込まず，まずは降着円盤となって周囲を回転する．円盤中のガスはわずかに電離しているため，星の磁場と相互作用して不安定性を誘発し，最終的に中心星に落下する*1．その際，ごく一部のガスは双極ジェットや分子流*2として円盤鉛直方向に打ち出され，余剰の角運動量とともに系外に去っていく．中心星は自らの重みで収縮しながら，その重力エネルギーを熱に転化して温度を上げていく．その一方で，星周ガスや降着円盤は，中心星に取り込まれるか，系外に飛ばされるか，または惑星となって消散していく．中心星は，芯が十分な高温に達すると，最終的に核融合反応を起こして，一人前に自ら輝く恒星（主系列星）へと進化する．

核燃焼を起こすまでのいわゆる前主系列段階は，赤外線・電波のスペクトルから，若い順にクラス 0 から III まで 4 種類（図 1 を参照）に分類される*3．クラス 0, I 天体は原始星，クラス II, III は最初にこの種の星が見つかった場所にちなんで，T タウリ星とも呼ばれる（図 1 を参照）．

クラス 0 原始星は，黒体放射温度が絶対温度で 30 度以下の冷たい天体で，近赤外線より短波長側

*1 ここは現在，理論研究が特に盛んな領域である．
*2 例えばおうし座分子雲の HH30 など．http://hubblesite.org/gallery/album/star_collection/pr1995024a/
*3 この前段階も最近見つかりだし，クラス −I（マイナスいち）天体と呼ばれている．



	原始星 (Class 0)	原始星 (Class I)	Tタウリ星	主系列星 (太陽)
プラズマ温度 (keV)	3−4	2−4	1−3	0.1−0.3
log [X線光度] (ergs/s)	31	29−30.2	28−30.5	27.3

図1　前主系列星の進化の図．色が青くなるほど，（可視光や赤外線で見た）星や降着円盤の温度が高い．クラス0原始星が星周円盤をもっているかは，まだ議論の余地がある．図中の表はX線で見た前主系列星の周囲にある高温プラズマの温度と光度．青字は，今回の観測で初めて測定された値．

では基本的に光っていない[1]．まだ大半の質量は中心星に取り込まれる前で，活発にガスが降着して成長している最中と考えられる．クラスI原始星はガスをほぼ集め終わった段階で，中心星はまだ外から見えないものの，温度も数千度まで上昇し，近赤外線で明るく輝き出す．クラスII天体は周囲のガスエンベロープが消失し，中心星と降着円盤からの放射がはっきり見え始め，クラスIII天体は降着円盤もなくなって，見た目には普通の恒星と何ら変わらず，中心星内部での核燃焼の点火を待つのみとなる．

これら前主系列星をX線で見ると，クラスI原始星以降は異様に明るく輝いていることがわかってきた[2),3)]．X線は中心星の表面付近にある高温プラズマから発していると思われるが，その温度は太陽コロナの約10倍の1千万度，X線強度は千倍にも達する．しかも図1中の表に示したように，若い段階ほどこの活動は激しさを増す傾向がある[4)]．若い低温な星ほど，その周囲に超高温プラズマを多くまとうとは奇妙な話に聞こえるが[*4]，その秘密はガスを超高温まで加熱する磁場活動機構にある．

太陽磁場は，表面のガスの対流運動と差動回転の相乗効果で増幅される．Tタウリ星は基本的にこれと同じ機構をもつが，星表面の対流層が深いため増幅が効率よく働いて，より活発に磁場活動を行い，大量の超高温プラズマを生成するのである．一方，クラスI原始星は，星全体が対流層になるため，磁場を内部につなぎ止められなくなり，この機構は逆にうまく働かなくなる．その起源は完全に解明されていないが，質量降着の際の，星と降着円盤を巻き込んだ大規模な磁場増幅が，代替機構として提案されている[5)]．実際，2004年にオリオン座，マクニール星雲中の原始星候補

[*4] X線で放出されるエネルギーは可視光・赤外線の千分の1以下である．若い星は，ほんの一部のガスを超高温に加熱する良い装置をもっていると考えるとわかりやすい．

天体で，星への質量降着が急激に増加する現象が観測されたが，これに呼応してX線強度も大幅に上昇した[6]．X線活動が質量降着現象と関連するのは間違いないようだ．

3. クラス0原始星からX線は出ている？ 出ていない？

こういったX線活動はさらに若いクラス0原始星までさかのぼれるのだろうか？ その検証は実は容易ではない．クラス0原始星は極めて濃い星周ガスに覆われているため，大半のX線は吸収されてしまうのである*5．しかも一般に星が密集した領域にいるので，周辺のクラスI原始星やTタウリ星の光に埋もれてしまうのである．そもそも絶対数が少ないため，観測に好条件の星がなかなか見つからない．

1999年に打ち上げられたアメリカのX線衛星チャンドラは，吸収の影響を受けにくい10 keV*6の高エネルギーX線まで，1秒角以下の高い角分解能を持ち，しかも背景雑音（バックグラウンドノイズ）が低いため，クラス0原始星からのわずかな光を捕らえられると期待されてきた．実際，オリオン座第3分子雲の観測では，星間雲の濃い領域に強い吸収を受けたX線源を二つ見つけ，隠れたクラス0原始星発見かと注目を集めた[7]．しかし，これらのX線天体を赤外線で追観測したところ，一方のX線源は近くのクラスI原始星からの強力なジェットが星間ガスと衝突した現場であろうという，面白くも別の物理に解釈がずれてしまい[8]，もう一方もクラス0原始星であることを後押しする証拠は残念ながら得られなかった．

その後もクラス0原始星が隠れていそうな分子雲からのX線放射は2～3例報告されたが[9, 10]，検出したX線光子は数個から数十個と極めて限られ踏み込んだ議論には至っていない．一方，確実にクラス0原始星がいるとされる領域から，X線は検出されなかった[11]．このような経緯から，2003年にオーストラリアで開かれた国際天文連合総会（IAU）では，クラス0原始星はまだX線活動を始めていないのではという疑念も飛び出し，大きな論争となった．

4. そして再びみなみのかんむり座R星星形成領域へ

今回，クラス0原始星からのX線検出の舞台になったのは，南天みなみのかんむり座R星周辺にある，中小質量星を活発に形成している分子雲である．ここは筆者にとって数年来の因縁の領域であった．

図2（表紙写真）右は，共同研究者の東大の根建航，小林尚人両氏，ハワイ大のアラン・トクナガ氏らが，ハワイ大の88インチ（～2.2 m）望遠鏡（UH88）を用いて撮影した，J（$\lambda=1.25\,\mu$m），H（1.65 μm），K（2.2 μm）3バンドでの同領域の赤外線写真である．中心に見える中質量の前主系列星R星からの強力な光が，周囲の星間ガスを明るく照らしている．R星の右に赤く輝く四つの天体はクラスI原始星である．この各々から，小山勝二教授を中心とする観測グループは，1994年に日本の衛星あすかを用いてX線を初検出した[3]．以来この星形成領域は，クラスI原始星の超高温物理の扉を開いた，いわば記念碑的な場所となっている．

この領域で最も若い星々は，R星の南東（左下）約10秒のIRS7領域にいると推測されてきた．ここは，電波の分子輝線強度が近傍で最も強い領域で，クラスI原始星よりKバンドで数十倍暗い，

*5 クラスI原始星も似た問題があり，短波長のX線の撮像を可能にした日本のあすか衛星が，1994年にようやくそのX線を検出した．4章を参照．

*6 X線業界では，光子をエネルギーで書く傾向がある（エネルギーと波長は反比例の関係で，10 keVは0.12ナノメートル，1 keVは1.24ナノメートル）．

近赤外線天体 IRS7 も存在する[12)]．実は，先のあすかの観測のもう一つ重要な成果は，この領域から強い X 線を検出し，その上フレアも捕らえたことにある．残念ながら，あすか衛星の空間分解能は，がんばって像のピークだけを測定しても数十秒と，R 星やその他いくつかの近傍の星と分離できない．しかし，X 線の吸収量は水素柱密度で約 $4\times10^{22}\ \mathrm{cm}^{-2}$ で，可視減光等級 (Av) に換算すると約 10–20 等相当と，R 星の約 2.4 等より有為に大きい．このことから，X 線はとても若い天体 IRS7 から来ているのではないかと沸き立った．

しかもフレア中の X 線スペクトルが，普通ではなかった．X 線エネルギー 6.2 keV に，通常存在しないはずの輝線が現れたのである．鉄 K 輝線がドップラー効果で赤化していればこの輝線は説明できる．しかしそれには相対論的速度でプラズマが飛んでいる必要がある．本研究には筆者も参加しており，「原始星からの相対論的ジェット？」という挑戦的なタイトルで，グループを代表して研究会で発表する機会もあった．

その後，「事実は理論より奇なり」という小山教授の号令のもと，この領域から再度フレアを捕らえる挑戦が行われた．あすか衛星は，1996 年に 2 回，1998 年に 2 回の計 4 回観測を行い，筆者は再観測のデータ解析をまかされた．ところが，フレアどころか当の X 線源自体，なくなってしまったのである*7．自分にツキがないのか，教授の助けが必要なのか（やり方は不明だが，当時，教授が本気になるとフレアが起こるとささやかれていた)，悩んだものの術なく，結局あきらめざるをえなかった．ちなみに筆者はその後，あすか衛星で中質量前主系列星 MWC297 からフレアを捕まえたが，チャンドラ衛星で再観測したところ，同じように X 線源自体が暗くなってしまった．どうもそういう“星”に生まれついているらしい*8．

これらあすか衛星の成果が注目され，チャンドラ衛星やヨーロッパ宇宙機関の XMM ニュートン衛星は，打ち上げ後にみなみのかんむり座 R 星領域を開発者特権時間で観測した．いずれの衛星もあすか衛星の 10–100 倍の空間分解能をもち，高エネルギー X 線の感度は抜群である．「ああ，これらの観測で IRS7 領域から X 線が検出され，すべて白日の下にさらされよう」と筆者は思っていた．だが，ツキのなさは万国共通，この領域のいくつかの天体から X 線は検出されたが，決定的な“何か”は掴めなかった．

一方，筆者も自身の XMM ニュートン衛星の観測で，この領域に戻ってきた．しかし，今回注目したのは TY 星，R 星の北西 6 分ほどにある中質量前主系列星である．この星は，太陽質量程度の若い星と食連星系をなし，周期 3 日弱で公転している．観測目的は，1 日おいて起こる主星と伴星の食の両者を観測しようというものであった*9．しかし，XMM ニュートン衛星の視野は約 30 分，IRS7 領域も十分視野に入る．観測後送られてきたデータの X 線画像を見たところ，この領域が明るくなっているのを発見，冒頭の発言になったわけである*10．

5. 見つかった X 線源は何者？

図 2（表紙写真）左は，XMM ニュートン衛星が 2003 年 3 月に撮影した X 線のカラー画像である[13)]．可視光による写真と同じように，XMM ニュートン衛星の感度帯で，波長の長い側から順に赤 (0.2–1 keV)・緑 (1–3 keV)・青 (3–9 keV) と色づけしている．図中，赤・白・青のさまざま

*7 事実は小説のようにうまくはいかない．

*8 しかも，博士論文の当てにしていたアストロ E 衛星打ち上げは失敗，その埋め合わせとしてアメリカ側から提供されたあすか衛星による長時間観測も，自分の観測の直前に衛星の寿命が尽きて実現されず．この時期，いいことは本当に何もなかった（ちなみに何とか博士論文は通った)．

*9 これまた面白い結果で，何らかの機会に紹介したいものである．

*10 ポイントは横目でちらっと見ることかもしれない．

な色のX線源が見られるが，これは放射しているプラズマの温度と吸収に関係している．まず，プラズマは高温なほどエネルギーの高い，つまり青いX線まで放射できる．例えば図中右上の赤い星に比べ，その上や右下の赤緑青が混ざっている白い星は温度が高い．次に，図中心に四つある水色のX線源，これはあすか衛星が見つけたクラスI原始星だが，赤色が混ざっていない．これはガスの吸収のためである．X線は波長が長いほど，ガスの吸収を受けやすい性質がある．クラスI原始星は大量に星周ガスをもつため，波長の長い赤いX線は透過できず，外から見えないのである．その左にあるひときわ濃い青の星は今回発見したIRS7領域のX線源だが，この天体がさらに濃い星周ガスをもつことは，緑色も見えないことからおわかりいただけるだろう．

XMMニュートン衛星は数秒角の精度で天体の位置を決定できる．この濃青のX線源を他波長の天体カタログと比較したところ，赤外線天体IRS7での東約10秒にある電波源IRS7B*[11]と一致した．IRS7Bはセンチ波以外で見えていなかったので*[12]，何者かわからない[15),16)]．そのため，たまたま分子雲の背後に隠れている，遠方の活動銀河核やブラックホールである可能性も議論されてきた．しかし，これらの天体からのX線の特徴は，今回XMMニュートン衛星で観測されたそれとは明らかに異なる．やはり，未知の若い星がここにいると考えるのが妥当であろう．

X線スペクトルから求めたこの天体の吸収量は，水素の柱密度で $3\times10^{23}\ \mathrm{cm}^{-2}$，可視の減光等級で約200等で，典型的なクラスI原始星のほぼ10倍であった．一方で，図2（表紙写真）右のUH88の写真に対応天体は検出されず，Kバンドの限界等級で19等という極めて低い上限値がついた．これは周りのクラスI原始星より，1万倍以上暗い値である．これらの事実は，IRS7Bがクラス0原始星か，それに限りなく近いことを示す強い証拠になった．ちなみにこの天体は，根建氏・小林氏らが，すばる望遠鏡の検出器IRCSとCOMICSを用いて行ったさらに長波長側*[13]での赤外観測で，ようやく検出された（ちなみにヨーロッパ南天天文台VLTも検出したらしい[17)]）．図2（表紙写真）右の左上の囲み中，赤色がすばるのLバンド画像にあたる．IRS7Bが真っ赤に見えるのがわかるだろう．一方で，サブミリ波観測も，この領域にクラス0原始星にふさわしい中心集中度・強度をもった天体を見つけている[18),19)]．現時点ではあらゆる観測結果が，IRS7Bはこれまで発見されたX線源の中で，クラス0ないしそれに最も近い天体であることを示している．

6. IRS7BのX線活動の特徴

今回の結果で特筆すべきは，そのX線データの豊富さである．XMMニュートン衛星の観測では，X線が約2,000光子も観測された．これは過去，クラス0天体ではないかと疑われたX線源からの数十〜数百倍である．これまでの結果が，X線が検出された/されないに終始していたのに対し，スペクトルの時間変動・プラズマ診断といった全く新しい議論が可能になった．しかも，チャンドラ衛星の観測データも合わせて解析した結果，月から年単位での大幅な強度変動も見えてきた．これほどの情報量は，クラスI原始星でもそうはお目にかかれない．

6.1 なぜ，XMMニュートンの観測中にX線で明るくなったのか？

2年半前と3カ月後に行われたチャンドラ衛星の観測に比べ，XMMニュートン衛星の観測時に

*11 IRSはInfrared Source（赤外線天体）の略称であるため，IRS7Bも赤外線で発見されたと誤解されやすいが，IRS7の近くに見つかった強力な電波源である．これと区別するためにIRS7はIRS7Aとも呼ばれている．

*12 ミリ波でもわずかに見えているかもしれないという報告がある[14)]．

*13 検出した波長は，L (3.8 μm), N (11.7 μm), Q (24.5 μm).

IRS7BのX線強度は10倍から100倍に跳ね上がった．次章に詳しく述べるように，この光度上昇は，フレア的突発現象ではなく，定常的な活動が底上げされたように見える．定常活動がこのような短期間に大幅に変化した例は，通常の星では知る限りなく，珍しい現象と言えるだろう．実は似た現象は，2章で述べたオリオン座マクニール星雲中の原始星の質量降着アウトバーストでも見

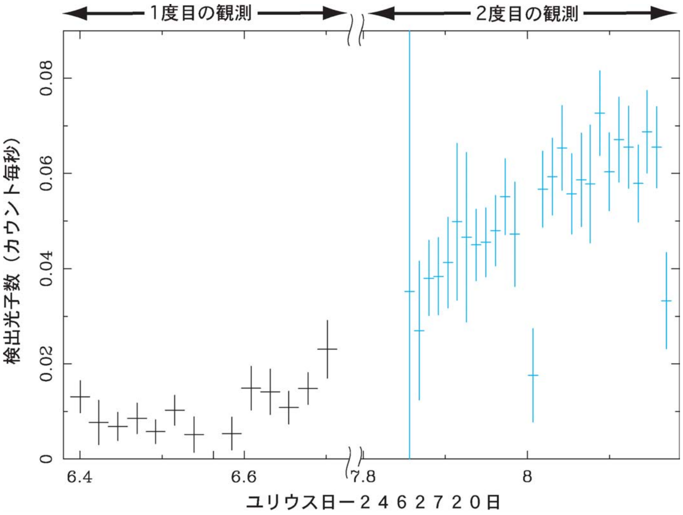


図3　X線光度曲線．1度目の観測を左（黒）に，2度目の観測を右（青）に描いてある．縦軸はXMMニュートン衛星の三つの検出器（pn，MOS1，MOS2）の検出光子数を足し合わせたもの．一つのデータ点の幅は，1度目の観測で2,000秒，2度目の観測で1,000秒である．2度目の観測で2点だけデータ点が落ち込んでいる原因は不明である．

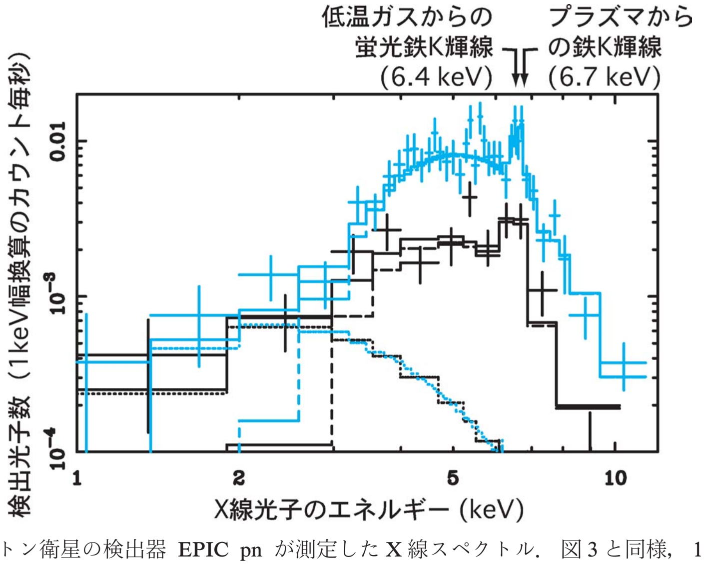


図4　XMMニュートン衛星の検出器 EPIC pn が測定したX線スペクトル．図3と同様，1度目の観測を黒，2度目の観測を青で描いてある．図中，モデル計算から導かれた無変動成分（2 keVにピークがある）を点線で，変動成分（5 keVにピークがある）を破線で，両者の合計を実線で表している．

られた．XMM ニュートン衛星は幸運にも，星への質量降着が激しくなった瞬間を捕らえたのかもしれない．

6.2　X 線時間変動とスペクトル

図 3 は，XMM ニュートン衛星の観測中の X 線光度曲線である．1 度目の観測では有為な変動が見られなかったのに対し，1 日後の 2 度目の観測では半日で約 2 倍単調に増加している．典型的な短時間変動で思いつくのは，太陽フレアなどに見られる千秒前後での急激な光度上昇である．しかし，2 度目の観測で見られた変動ははるかにゆっくりで，しかも温度上昇を伴っていない．どうやら時間変動は別の機構が原因のように見える．

時間変動の解釈は **6.3** 章に述べるとして，この 2 回の観測それぞれの X 線スペクトルを見てみよう（図 4 参照）．まず，3 keV 以上の光子エネルギーでは X 線強度が数倍変動したのに対し，それ以下のわずかな X 線放射には違いが見られなかった．IRS7B からの X 線には，変動成分と無変動成分の 2 種類が存在するようだ．変動成分には，6.7 keV に電子が 24 個はぎ取られたヘリウム様鉄からの K 輝線が，はっきり見られた．これは，X 線が温度 4,000 万度もの，非常に高温な熱的プラズマから放射されたことを表している．星周ガスによる吸収が効く前の X 線光度は 10^{31} ergs/s 前後と，クラス I 原始星の定常時よりはるかに明るく，フレア時に匹敵する．X 線の活動性が若い天体ほど激しくなる傾向は，クラス 0 原始星までさかのぼれるのかもしれない．

4,000 万度の超高温プラズマを作るには，ガスを数千キロメートル毎秒の高速で星の表面にぶつけないといけない．星表面への自由落下速度はせいぜい数百キロメートル毎秒なので，ガスを加速する必要がある．クラス I 原始星からの X 線フレアでは，中心星と星周円盤をつなぐ巨大磁場が差動回転でひねられ，磁場再結合を起こして発生するというモデルが提示されている[5]．IRS7B ではこの磁場再結合が連続的に起きて絶えず粒子を加速し，星表面に打ち当たることで，定常的に高温プラズマを生成しているのかもしれない．

6.3　ガス球の自転？

X 線スペクトル中には，冷たいガスから放射される鉄の K 輝線が 6.4 keV に見られた．これは中心星からの X 線が，星周ガスに吸収された後，再

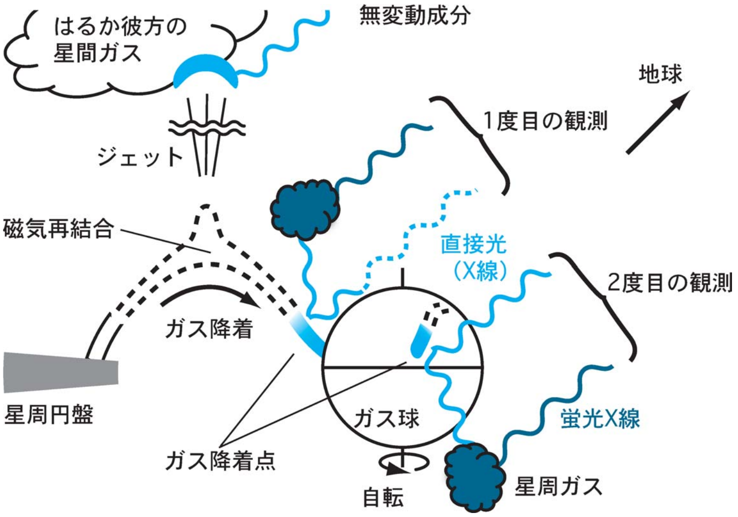


図 5　IRS7B 周辺の想像図．星周ガスは空の雲のように書いてあるが，霧のように原始星周辺を覆っている（かもしれない）．

放出した蛍光放射と考えられる．この輝線はクラスＩ原始星でもまれにしか見られないことから，IRS7B が大量の星周ガスをもつことが，この結果からも示唆される．輝線の等価幅を測定した結果，1 度目の観測では統計は悪いながらも，800 eV と極めて大きい値を示した．これは，星周ガスを照らす X 線の約 60％ は，われわれから直接見えていないことを意味している[20]．面白いことにこの 60％ を戻してやると，1 度目の観測時の X 線強度は 2 度目のそれと大体一緒になった．これは一体何を示しているのだろうか？

先の X 線の短時間変動を組み合わせると，答えは中心星の自転にあるのかもしれない．図 5 をご覧いただきたい．X 線は，ガスが磁気ループを通って星の表面にぶつかった一点（ホットスポット）で光っていると仮定する．1 度目の観測時，ホットスポットは星の裏側にあって，大半の X 線放射はわれわれから直接見えない．しかし星の向こう側の星周ガスで吸収再放出された蛍光輝線は，星に遮られずにわれわれまで届く．一方 2 度目の観測では，ホットスポットが自転によって中心星の縁からしだいに見えてきたため，X 線強度がゆっくり上がっていった．もしこの推論が正しければ，ガス球の自転周期は 3 日より長くなる．

6.4　IRS7B からのジェット？

それでは 3 keV 以下に見られた無変動成分は何なのだろうか？ この成分の吸収量は変動成分のわずか十分の 1 しかなく，星周ガスのかなり外側から発しているようだ．一つの可能性は，IRS7 B のジェットが周囲のガスと衝突し，加熱したプラズマからの X 線を見ているというものである（図 5 参照）．筆者らは，電波のセンチ波はこのジェットを見ていると予想していて，アメリカの電波望遠鏡 VLA での高空間分解能の追観測を予定している．

7.　クラス 0 原始星の質量降着活動

以上の事実を考え合わせると，クラス 0 原始星の X 線活動は通常低く，ときどき突発的にクラスＩ原始星より激しくなるのかもしれない．これは，周囲の他のクラスＩ原始星が，あすかの観測から通して目立った X 線長期変動を示さないのと対照的である．

一方，電波の CO 輝線で見たクラス 0 原始星からの分子流は，クラスＩ原始星のそれよりエネルギーも運動量も大きいものの，活動は間欠的である[21]．これは，X 線活動の違いと非常によく似ている．X 線活動は質量降着に伴う高エネルギー現象で，分子流はその結果外に吹き飛ばされたガス流と理解されており，両者の一致はきれいにつじつまが合う．

星への質量降着は，クラス 0 原始星の間は時々突発的に激しくなり，クラスＩ原始星に移行するに従って，定常的かつ穏やかになっていくのかもしれない．

8.　最　後　に

このように X 線観測は，誕生直後の中心星からの状態を見る最良の手段と言えよう．また若い星からの強力な X 線は，星周ガス中にある分子の結合を切断し，有機物を合成するきっかけを提供しているのではないかと最近言われている．若い星の X 線活動史を解明することで，生命誕生のパズルのピースの一つを埋められるかもしれない．

最後に，今回見つかった天体はあすかでフレアを起こした天体だろうか？ 答は否．IRS7B の位置は，あすかで観測された X 線放射からほんの少しずれているのと，X 線での吸収量が 10 倍近く大きいことがその理由である．謎の輝線天体は，また次回の観測に探るとしよう．

謝　辞

本研究の共同研究者，特に X 線物理で多くの議論を重ねた M. F. Corcoran 氏，B. Stelzer 氏，赤外線観測を受け持ち，記者発表その他，多くの

作業で協力していただいた小林尚人氏，根建　航氏に感謝します．本稿執筆に関しては，石川勝也氏，秋山幸子氏，八代誠司氏，見崎一民氏，木村勇気氏から，さまざまなコメントをいただきました．ありがとうございます．最後に，本研究へ踏み込む道しるべを示し，X 線を用いた星形成の研究の重要さを，身にしみて教えこませていただいた小山勝二教授に深くお礼申し上げます．本研究はナショナルリサーチカウンシル，XMM ニュートン US グラントのサポートを受けています．

参考文献

1) André P., Ward-Thompson D., Barsony M., 1993, ApJ 406, 122
2) Montmerle T., et al., 1983, ApJ 269, 182
3) Koyama K., et al., 1996, PASJ 48, L87
4) Imanishi K., Koyama K., Tsuboi Y., 2001, ApJ 557, 747
5) Montmerle T., et al., 2000, ApJ 532, 1097
6) Kastner J. H., et al., 2004, Nature 430, 429
7) Tsuboi Y., et al., 2001, ApJ 554, 734
8) Tsujimoto M., et al., 2004, PASJ 56, 341
9) Skinner S., Gagné M., Belzer E., 2003, ApJ 598, 375
10) Rho J., et al., 2004, ApJ 607, 904
11) Montmerle T., 2003, IAU シンポジウム 221, 口頭発表
12) Wilking B. A., et al., 1997, AJ 114, 2029
13) Hamaguchi K., et al., 2005, ApJ 623, 291
14) Choi M., Tatematsu K., 2004, ApJ 600, L55
15) Brown A., 1987, ApJ 322, L31
16) Feigelson E. D., Carkner L., Wilking B. A., 1998, ApJ 494, L215
17) Pontoppidan K. M., et al., 2003, A&A 408, 981
18) van den Ancker M. E., 1999, Ph.D. thesis, Univ. Amsterdam
19) Nutter D. J., Ward-Thompson D., André P., 2005, MNRAS 357, 975
20) Inoue H., 1985, Space Sci. Rev. 40, 317
21) Bontemps S., et al., 1996, A&A 311, 858

Discovery of X-ray Emission from a Class 0 Protostar

Kenji HAMAGUCHI
NASA, Goddard Space Flight Center, Exploration of the Universe Division, Code 662.0, Greenbelt, MD 20771, USA

Abstract: With two XMM-Newton observations on March 2003, we detected for the first time strong X-ray emission from an extremely embedded source in the R Corona Australis star forming core. The source, identified as IRS7B, has the characteristics of a star in its youngest phase, i.e. a Class 0 protostar: strong X-ray absorption of N_H ～3e23 cm^{-2} equivalent to the visual extinction of ～180 mag; extremely weak emission in the near infrared (K＞19 mag) but strong emission at submillimeter wavelengths. X-rays are emitted from very hot plasma at a temperature ～4×10^7 K. Such high energy emission may be produced by magnetic activity in the process of mass accretion onto the protostellar core.