

理工学部物理学科／宇宙物理学研究室
宇宙物理学

坪井 陽子 准教授

【プロフィール】 坪井 陽子（つばい ようこ）▷京都大学理学部を経て、1996年同大学大学院理学研究科物理学第二専攻修士課程修了。1999年、同物理・宇宙物理学専攻博士課程修了。同年、日本学術振興会海外特別研究員となり、2001年、米国ペンシルバニア州立大学天文学および宇宙物理学科の research associate となる。2002年、中央大学理工学部専任講師、2004年、助教授、2007年、准教授となり、現在に至る。



宇宙で星はいかにして生まれるのか。 厚い塵の中心に潜み、他の波長では 見ることのできない“星の胎児”をX線で透視。

星は、どのようなプロセスを経て誕生するのか。こんな単純な問いへの回答も人類はまだ手にしていません。幼児の頃には天文に興味をもっていたという坪井先生は、現在「原始星」の解明に情熱を注いでいます。原始星とは厚い塵の内部で育ちつつある“星の胎児”と、その母体である塵の塊のこと。塵に阻まれ、胎児そのものが観測されることは長い間なかったのです。坪井先生はそれを透視するために「X線」を利用。肺や骨の異常を調べるために人体を透視する、あのレントゲンと同じ電磁波で、宇宙の謎に迫っているのです。天体からのX線は大気の外から観測する必要があり、飛翔体を用いなければなりません。注目される科学衛星プロジェクトの一員でもある坪井先生は、いま原始星に対しどこまで迫り、何を課題と捉えているのか。我々の起源にもつながる宇宙の謎に焦点を当ててみましょう。

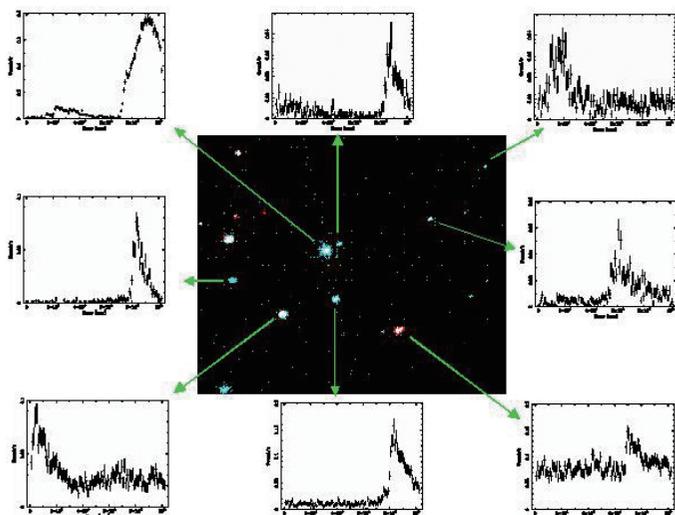
極低温の塵の奥深く、X線で光り輝く 星の胎児の発見

宇宙には、水素やヘリウムなどのガスとともに塵（ちり）が漂っています。星は、このガスや塵が多く集まっている場所で生まれます。

「星は『原始星』と呼ばれる塵の塊（かたまり）から生まれます。この塊は30ケルビン（-243度）というような、極度に低い温度のため、1千万度を超える高温ガスが発するX線とは無縁だと思われてきました。ところが、実際にX線観測を行うと、まさにその塵の塊からX線、それも周波数が高く、物質を透過しやすいX線の

みが検出されたのです。これは、塵のど真ん中に星の胎児ともいべきコアが存在しX線を放っていること、またそのX線のうち透過しやすい周波数成分のみが塵に吸収されずに捉えられたことを意味します。このX線は突発的に明るくなつては消え、を繰り返していました。明るい時のX線の周波数情報を解析すると、1億度もの超高温ガスから放たれていることが分かりました。またX線の強度とその変動する様子からは、ガスの体積が太陽1個分にもものぼることが判明しました。これは星の胎児が爆発的に超巨大な超高温ガスを生成している証拠です。星の胎児は塵の母体の中にいるときから既に大きく泣きわめいている、という新事実が分かったのです。」

この発見は、坪井先生が大学院生の時に経験した快挙でした。それ以来、先生は、さらに若い段階の星の胎児の発見を行うなど、星の誕生プロセスの解明を重ねることになります。



▲坪井先生のグループで観測した原始星集団のX線写真とX線の強度変動のグラフ。青い天体ほど塵の奥深くに潜み年齢が若い。

X線観測で見えてきた 星の胎児のごく近傍の構造

坪井先生は、星の胎児に飲み込まれる寸前の円盤の内縁からもX線を発見したと言います。

「天体から観測されるX線は、ある特定の周波数のみ強度が強い『輝線スペクトル』という成分を持つことがあります。原始星からも、星でよく観測される周波数の輝線が捉えられ、星の胎児の作る高温ガス中の激しく電離された鉄イオンが起源であることが分かりました。しかしそれに加えて、通常は観測されない周波数の輝線も捉えられ、それはほとんどイオン化していない低温の鉄から発せられていることが分かりました。この輝線は、星の胎児の極近傍の

円盤状の塵に、胎児からのX線が衝突し、再放出されたものだと考えられます」

X線天文衛星「ASTRO-H」を用いて 星の誕生過程を明らかに

坪井先生は、発見してきた星の胎児からの輝線と円盤からの輝線を精密に観測することにより、今まで誰も踏み入ることのできなかった星の誕生過程にアプローチできると考えています。

「星の胎児の極近傍では、その糧となるべき塵やガスが高速で円運動し、そのまま胎児まで落ち込むのが難しい状況になっていると考えられています。しかし、実際には星の胎児は太陽のような星として生まれるべく、成長を続けているはずで、おそらく円盤の内縁にある物質の一部が他の波長で観測されるジェットとして遠心力を持ち逃げ、残った物質が減速して星の胎児に落ち込んでいるでしょう。しかし原始星から投げ出された物質は観測できても、星の胎児へと落ち込む物質の量、胎児のサイズ、胎児がどのように回転しているかなどの本質は今まで全く分かっていません」

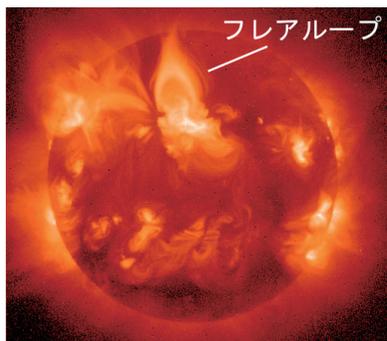
「2015年度には『JAXA (ジャクサ / 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構)』が『ASTRO-H』というX線天文衛星を打ち上げる予定です。この衛星では、X線の周波数を今までにない精度で観測できるため、輝線の周波数の変化を初めて追えるでしょう。例えば、救急車がサイレンを鳴らして私たちに近づいてくるときは音の周波数が高くなり、遠ざかるときには低くなるという『ドップラー効果』が起こりますが、天体からのX線も発生源が観測者に近づくとも周波数が高く、遠ざかると低く観測されます。星の胎児も円盤の内縁付近もそれぞれ自転と回転をしていますから、自転もしくは回転の速度とその周期が輝線の観測で得られるはずで、これらを使うと、星の胎児の半径、質量、角運動量、および円盤の内縁付近の半径、角運動量に制限がつけます。これらから初めて星の胎児がどのように物質を蓄えていくか、本質に迫ることができます」

フレアってなんだ

「星の胎児から観測した爆発現象は『フレア』と分類される現象ですが、通常の星のフレアに比べ桁違いに大きなものでした。しかし、目に見える星からもこういった巨大なフレアが観測されることがあります。これらの巨大フレア自体、その生成過程は未解明で、どのような星が巨大フレアを起こすのか、フレアで形成される高温ガス

はどのような形をしているかなども分かっていません」

坪井先生は、星の巨大フレアの研究でも昨今世界的に貢献しています。現在国際宇宙ステーションに搭載されている全天X線監視装置「MAXI」で、たくさんの巨大フレアを捉えているのです。



▲「ようこう衛星」で撮像された太陽のX線写真。原始星では桁違いに巨大なガスがX線で光り輝いていることが分かった。

「2009年度から私たちの研究室も、MAXIのプロジェクトに参加し、星のフレアを無バイアスにサーベイしています。MAXIは90分に一度、全天をX線で監視しており、私たちは、たった5年で、29個の星から70ものフレアを検出しました。フレアを起こした天体は恒星と準赤色巨星の連星、非常に質量の小さい星、および原始星より一段階進化の進んだ若い天体『Tタウ型星』でしたが、それぞれの天体のカテゴリ内で最大規模のフレアばかりでした。フレアは一般的に規模の大きなものほど、起こる頻度が少なく、このような巨大フレアは、従来行われてきたような、一つの方向を限られた時間凝視する観測方法では見逃されてきたのでしょうか。」

このような目に見える星の最大規模フレアは、ASTRO-Hで得られる目に見えない原始星のフレアとの比較へと発展できるはずで、

また、坪井先生の研究室では、新たな観測の成果を導くための機器開発も行っています。

「X線と同時に可視光でもフレアを観測できるよう、2013年に中央大学の屋上に望遠鏡を設置しました。X線衛星すぐとの同時観測で、実際にフレアを捉えることができています。

また、極薄の結晶に炭素を成膜することで硬い結晶を曲げることに成功しました。将来、この曲がった結晶を用いた『X線偏光計』を衛星に搭載し、星の胎児から出るX線が塵に反射してどのくらい偏光するかを調べ、塵の円盤の形状や幾何を推測する計画も抱えています」

人間の目には見えない星の胎児が生まれる過程に、X線を用いて果敢に挑む。宇宙の謎の解明に常に真っ直ぐに進む坪井先生の眼差しは、計り知れない可能性を感じさせます。



▲6号館屋上にある天体望遠鏡。坪井研究室では、すざくX線天文衛星などと同じ星を見て、X線と可視光のデータを同時に取得している。

Message ~受験生に向けて~

宇宙は知られざる真実に溢れています。私の研究室では、上に書かれたこと以外にも、好奇心のおもむくままに、個人個人が好きなテーマを見つけて研究しています。ただ、大きな目標を達成するには、小さな目標を一つひとつクリアしないとたどり着けません。一足飛びに目標をつかもうとせず、小さな成功に喜びを感じながら、情熱を失わないことが研究を続けていくための秘訣です。好奇心を持って余しているあなた、私の研究室と一緒に宇宙の謎を暴きませんか。