

(X線天文衛星「すざく」を用いた超新星残骸における
非熱的 6.4 keV 鉄輝線の探査)

博士論文の要約

理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 佐治重孝

多くの超新星残骸(Supernova Remnant; SNR)は、温度数千万度の高温プラズマで満たされている。プラズマからのX線には、超新星や恒星内部での核融合で合成された重元素が放つ特性X線が含まれるため、宇宙化学進化を解明する上でSNRは重要な観測対象である。一部のSNRでは、プラズマは電子温度や電離温度が一致しない熱的に非平衡な状態にあり、熱平衡への過渡的状态を観測できる貴重な対象である。また、熱的エネルギーの一部が衝撃波により宇宙線の非熱的エネルギーへと転化されており、宇宙線の起源、非熱的エネルギー生成現場としても、SNRは重要な観測対象である。

近年、熱的プラズマとは空間分布が異なる6.4 keVの鉄輝線がSNRから検出された(Sato他 2016、Nobukawa他 accepted)。これは、中性あるいは電離度の低い鉄からの特性X線である。観測例が少なく、個々の光子統計も十分ではないが、現状では400 eV以上の等価幅が示唆され、10 MeV程度の宇宙線陽子による中性鉄原子の内殻電離が起源として提唱されている。もしこれが本当なら、6.4 keV輝線は、従来観測が極めて困難であった低エネルギー宇宙線の新たな観測手段と言える。6.4 keV輝線の起源を明らかにするには、より多くのX線観測が必要である。

本研究では、X線天文衛星すざくを用いて、銀河面西側 ($l > 180^\circ$, $|b| < 1^\circ$) に存在するSNRに対して6.4 keV輝線を探査した。高温プラズマからの熱的な鉄輝線の混入を防ぐため、電子温度1 keV以上のプラズマが存在しないとされるSNRを選び出した。その結果、11個のSNRが観測対象となった。5-8 keVのスペクトルを解析した結果、3つのSNR(G304.6-0.1、G323.7-1.0、G346.6-0.2)から空間的に広がった6.4 keV輝線を3 σ 以上の有意度で検出した。等価幅は最低でも460 eVで、特にG323.7-1.0では1.2 keV以上だった。鉄の電離度はMg状より中性に近かった。輝線超過領域の大きさはおよそ5分角から8分角で、SNRまでの距離を考慮すると10 pc以上の広がり相当した。

6.4 keV輝線の起源が熱的プラズマであると仮定すると、その年齢は電離度から100年未満と求められた。一方でG304.6-0.1、G323.7-1.0およびG346.6-0.2はいずれも10,000歳より古いと考えられ、観測されたような若いプラズマの存在は考えにくい。また、SNRにおける衝撃波加熱では、10 pc以上にわたるプラズマを100年以内に生成することは困難である。したがって、6.4 keV輝線の起源は熱的プラズマではなく、1) 光電離、2) 非熱的電子による内殻電離、3) 陽子による内殻電離、のいずれかである。光電離説は、SNR周辺にX線照射源がないため棄却された。電子起源の場合、観測された等価幅を説明できなかった。一方で10 MeV程度の低エネルギー陽子による電離ならば観測結果を矛盾なく説明できた。以上から、低エネルギー陽子がSNRにおける6.4 keV輝線の起源であるとの結論を得た。