

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 **Suzaku Study of Non-Thermal Iron Line Emission
at 6.4 keV from Supernova Remnants**

(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)

氏 名 佐治 重孝

論 文 内 容 の 要 旨

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 submitted)。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 3σ 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 状あるいは Si 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。