

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 1 / 10 / 2023

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	山本 真理乃	指 導 員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5321A073-1		
研究題目 Title	銀河中心大規模構造における電離非平衡プラズマの発見 : SgrA*ブラックホール活動の新たな示唆				

【研究背景・目的】

我々の住む銀河系の中心方向には、様々な波長での観測により大規模構造が確認されている。例えば電波では NPS/Loop I、マイクロ波では WMAP Haze、X 線では eROSITA bubble、 γ 線では Fermi bubble が挙げられる。これらの構造の起源について、太陽系近傍の超新星残骸 (SNR) だとする説、銀河中心の過去の活動によるアウトフローだとする説が未だに対立している。

そこで本研究では、NPS/Loop I 周辺と典型的な銀河ハローにおける軟 X 線スペクトルの違いや特徴について、HaloSat 衛星の全天探査データを用いて議論する。更に NPS/Loop I 周辺のプラズマについて、より感度の高い Suzaku 衛星を用いて詳細を議論し、特に電離平衡の観点から構造形成の歴史に迫る。

【HaloSat 衛星を用いた全天解析の結果】

まず、プラズマの全天における物理量の空間分布を調べるために、全天を満遍なく広視野で観測する HaloSat 衛星のデータを用いてスペクトル解析を行った。

全天の 372 観測領域のうち、銀河面リッジの寄与が大きい銀緯 $|b| < 15^\circ$ の領域、露光時間が短く統計が足りない領域、明るい天体が混入した領域を除外した 257 領域についてスペクトル解析を行った。結果、NPS/Loop I 領域を含む銀河中心のプラズマは、高温 (~ 0.3 keV) であり放射輝度 (EM) も高いことが分かった。これは当研究室が先駆けて発見した、NPS/Loop I のプラズマ温度 (~ 0.3 keV) は銀河ハローの典型的温度 (~ 0.2 keV) より高いという事実 (Kataoka et al. 2013) と一致する。

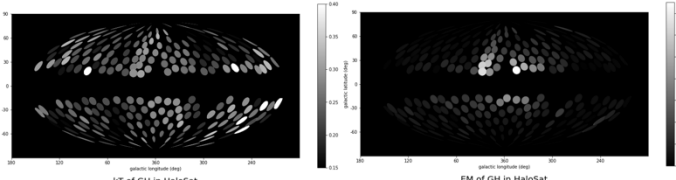


図 1. HaloSat 衛星による全天解析 (左) 温度分布 (右) EM 分布

【プラズマの電離平衡状態】

先行研究では、NPS/Loop I のプラズマは電子温度 T_e とイオン温度 T_p 、電離温度 T_z が平衡状態に達している電離平衡プラズマ (CIE) を仮定した解析を行っていた。しかしながら、銀河ハローが低密度であることや、衝撃波通過後に十分な時間が経過していない可能性があることより、必ずしも CIE であるとは言えない。実際に SNR の解析では電離非平衡プラズマ (NEI) が仮定されており、本研究で NPS/Loop I のプラズマ解析にも同様に導入した。

NEI を導入することで、スペクトルモデルのパラメータに電離パラメータ n_{et} が増える。これは電子密度 n_e とプラズマの加熱開始からの経過時間 t の積であり、 $n_{et} \sim$

$10^{12} \text{ s cm}^{-3}$ を超えると CIE に到達したとみなせる。

【電離非平衡プラズマの解析と考察】

NPS/Loop I 付近の Suzaku 衛星のデータを用いて、先行研究と同じ CIE モデルと、新しく導入した NEI モデルを用いて、各スペクトルのフィッティングを行った。結果、NEI モデルを仮定した方がよりフィッティングが統計的に合った。図 2 に eROSITA bubble 北側の座標を定義し、そこからの離角ごとの NPS/Loop I 周辺プラズマの温度と EM を示す。

NEI を仮定すると、NPS/Loop I のプラズマの電離パラメータは $n_{et} \sim 10^{11} \text{ s cm}^{-3}$ となり、電離平衡に近い非平衡状態であることが分かった。またプラズマは $0.5 \sim 0.6 \text{ keV}$ とより高温で、速度 $v \sim 500 \text{ km/s}$ で周囲の銀河ハローを衝撃波加熱した結果だと考えられる。更に EM から見積もられる電子密度は $n_e \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 、爆発のエネルギーは $E \sim 10^{54-55} \text{ erg}$ で、これらの構造が近傍の超新星残骸ではなく、銀河中心の過去の活動であることを支持する。

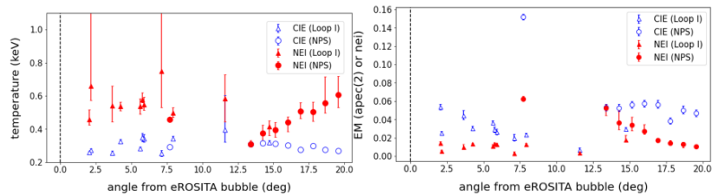


図 2. NPS/Loop I における CIE・NEI 仮定下の物理量分布 (左) 温度 (右) EM ※点線は eRosita bubble の境界

【まとめ】

銀河中心方向のプラズマは銀河ハローに比べて、明るく高温であることが確認できた。特に NPS/Loop I のプラズマは電離非平衡であることを発見した。また、これらの大規模構造は数百万年前の銀河中心の爆発である可能性が高いことが分かった。これは銀河系中心のブラックホール SgrA* の過去の活動を示唆し、渦巻き銀河の進化過程を知る手がかりに繋がる。

しかし、より多くの領域を用いた系統的な調査や、精緻な輝線を用いた解析が必要だ。今後は eROSITA 衛星や XRISM 衛星も加えて解析を行いたい。

【研究業績】

[査読付き論文]

- M. Yamamoto, J. Kataoka, Y. Sofue, "Discovery of non-equilibrium ionization plasma associated with the North Polar Spur and Loop I", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 512, Issue 2, pp.2034-2043, 2022. [国際学会]
- M. Yamamoto, J. Kataoka, Y. Sofue, "Discovery of non-equilibrium ionization plasma around the Fermi Bubble; new evidence of past activity of the Galactic center", *Gamma 2022*, poster, July. 4, 2022.