

論文内容の要旨

論文題目: Hard X-ray Study of the Galactic Bulge
(硬 X 線を用いた銀河系バルジの研究)

氏名 国分 紀秀

銀河バルジは、銀河の形態を特徴づける二つの基本的な要素の一つであり、銀河円盤と同様に、銀河の性質及び形成過程を決定する重要な役割を果たしていると考えられている。しかし、電波から γ 線にわたる広い波長で観測が行われ、多様な角度から研究が行われてきた銀河面に対して、銀河バルジ、特にそこに付随すると思われる高エネルギー現象については、過去の X 線観測がその存在を示唆していたにも関わらず、これまでほとんど研究が行われていない。そこで本論文は、硬 X 線を用いた観測と系統的なデータ解析によって、我々の銀河系バルジに付随する高温プラズマや高エネルギー粒子の存在をつきとめ、またその性質を明らかにすることで、バルジにおける星間物質の加熱・加速という高エネルギー現象についての統括的な知見を得ることを目的としている。

我々の銀河系は、薄い円盤と厚いバルジから構成される典型的な渦巻き銀河である。銀河面には、可視光で観測される恒星の他にも多様な温度の星間物質や磁場、高エネルギー粒子などがそれぞれ相をなして存在している。従来の観測によって、それらの固有な性質はほとんどが明らかにされつつあるが、未だにその性質や起源が謎であるものも存在する。その一つが銀河面に沿って、薄く広く存在する銀河面 X 線放射 (Galactic Ridge X-ray Emission; GRXE) である。「てんま」衛星による高階電離した鉄イオンからの K 殻遷移 X 線の検出、及び、極めて高い位置分解能を持った X 線衛星による観測においても個別の天体には分解されないことから、GRXE が、真に拮がった、温度 3~10 keV と

いう高温プラズマからの熱的放射であることはほぼ確実である。しかし、銀河系の重力ポテンシャルや典型的な星間ガス圧をはるかに超えるような高温プラズマを、どのようにして加熱・供給し、また銀河面内に閉じ込めておくかという問題に対して、未だに明確な結論は得られていない。

一方、「ぎんが」衛星によって、類似の高温プラズマが銀河系バルジにも存在するのではないかということが指摘された。銀河面が活発な星形成領域や高温の超新星残骸を多く含むのに対して、バルジは一般に古い種族の星のみからなり、特に星形成活動は現在ほとんど行われていないと考えられている。従って、仮に真に拡がった高温プラズマがバルジにも存在するとすれば、それはきわめて驚くべき事実であり、またその性質及び生成起源を明らかにすることが、多くの物理的意義を含むことは明白である。さらに、近年の観測によって、GRXEが熱的な放射だけでなく、 γ 線領域までなめらかに伸びる非熱的な放射をも含むことも示唆されている。仮に同様の非熱的な放射がバルジからも検出されれば、それは加速された高エネルギー粒子(電子・イオン)の存在を意味するため、さらにダイナミックな加速メカニズムが銀河系スケールで働いていることの直接的な証左となるであろう。

以上の科学的意義をふまえて、本論文では、「あすか」衛星とRXTE衛星による硬X線バンドでのバルジ領域の観測データに対して系統的なデータ解析を行った。「あすか」衛星に搭載されたGIS (Gas Imaging Spectrometer) 検出器と、RXTE衛星に搭載されたPCA (Proportional Counter Array) 検出器はともに、広い視野、大きな有効面積と低いバックグラウンドレベルを持ち、またそれぞれ0.7-10 keV、3-20 keVという広いエネルギー帯をカバーするため、バルジ放射の研究に対しては現時点で最適な観測手段である。また、GIS検出器は硬X線での撮像能力を持つため、視野内に混入する天体からの寄与を除去してバルジX線のスペクトルを調べることが出来る。そこでまず、特に明るい天体のいない領域を選んでデータを解析し、バルジ放射のスペクトルを作成した。図1に、両検出器から得られた銀河系バルジの典型的なエネルギースペクトルを示す。

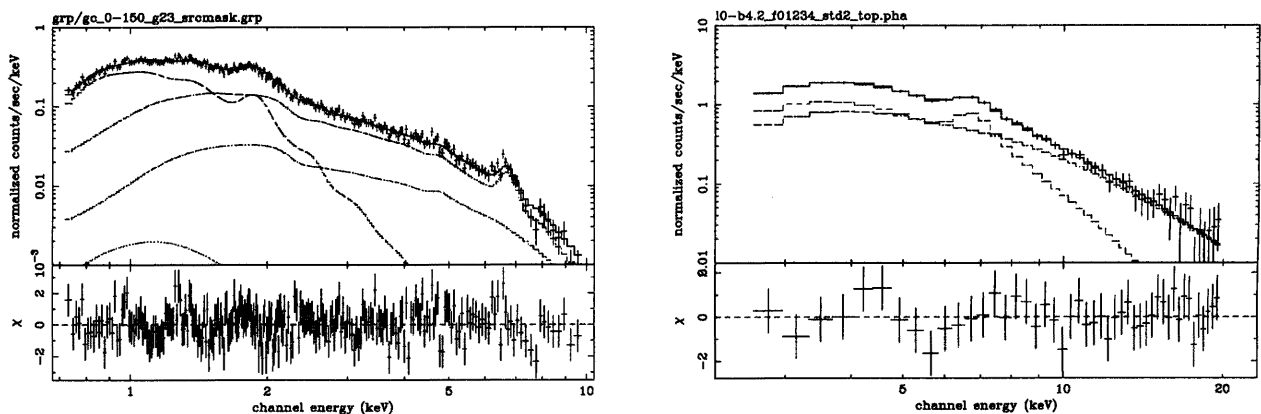


図1: (左): 「あすか」衛星と、(右): RXTE衛星の観測から得られた、銀河系バルジの典型的なエネルギースペクトル。破線はスペクトルフィットにおいて用いた個々のモデル成分の寄与を示す。

注意深くバックグラウンドを除去した結果、まず、確かにバルジからの X 線放射が 0.7 keV から 20 keV というエネルギー範囲全てにおいて存在することが確認された。さらに、これらのスペクトルに対して電離平衡にある希薄な高温プラズマからの放射モデルを用いて詳細な解析を行った結果、「あすか」衛星のスペクトルからは低温と高温の成分が、*RXTE* 衛星のスペクトルからは高温と非熱的成分が検出された。すなわち、バルジ X 線放射は、低温と高温の 2 つの熱的成分と、さらに非熱的成分の、3 つの成分から構成されることがはじめて明らかになった。熱的成分の温度は低温成分が 0.6 keV、高温成分が 3 keV 程度であり、また非熱的成分のスペクトルのべきは 1.8 程度であるという結果が得られた。

次に、同様の解析を全てのデータに対して行って、温度と表面輝度の空間分布を調べたところ、おどろくべきことに、熱的成分は銀河系バルジの全域に渡ってほぼ定温であり、非熱的成分もそのべきがほとんど変化しないという結果が得られた。さらに、高温成分と非熱的成分の表面輝度の空間分布は非常に良く相関しており、また銀経及び銀緯方向に、良く対称性が成り立っていることが明らかになった。図 2 に、低温成分の温度と、高温成分と非熱的成分の表面輝度の和の空間分布を示す。

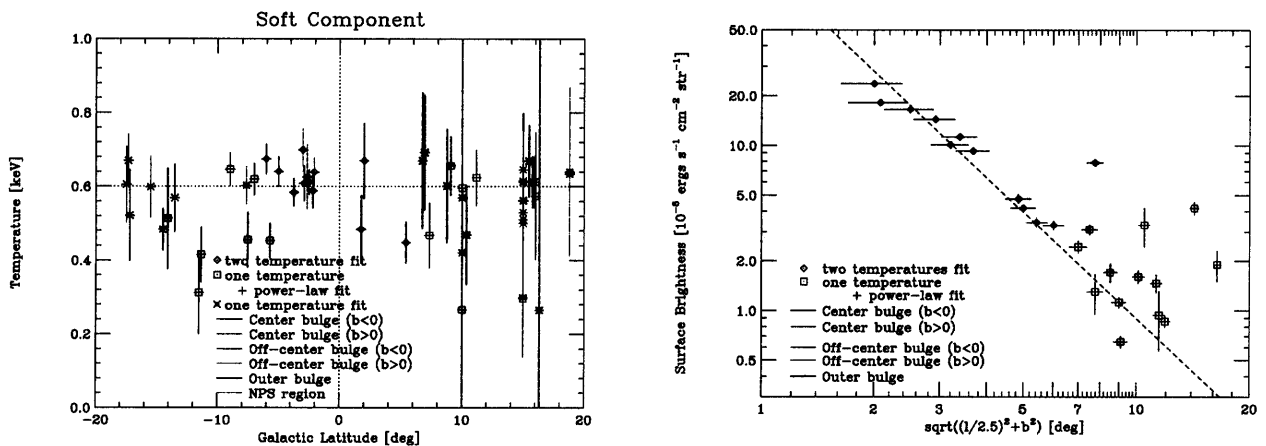


図 2: 「あすか」衛星の観測から得られた、(左): 低温成分の温度の空間分布と、(右): 硬 X 線バンドでの銀河系バルジの表面輝度に対して、銀河座標上の楕円を仮定して得られる空間分布。

以上の観測事実を銀河系バルジのさらに広い領域で検証するため、次に *RXTE* 衛星によるスキャン観測のデータを用いて、バルジ X 線放射が示す大局的構造について調査を行った。*RXTE* 衛星は撮像能力を持たないため、明るい天体がスキャン領域内に含まれている場合には特徴的なピークが検出される。これを利用してモデルフィッティングを行うことによって、個別の天体の寄与を除去し、バルジ放射の寄与のみを定量的に評価した。図 3 に、銀緯方向及び銀経方向のスキャンの結果得られた表面輝度分布の一例を示す。

これらのスキャンデータを解析した結果、X 線バルジの銀緯方向のスケールハイトはおよそ 2° であり、一方、銀経方向のスケール長さは 7° 程度であることが明らかになった。これは、近赤外線領

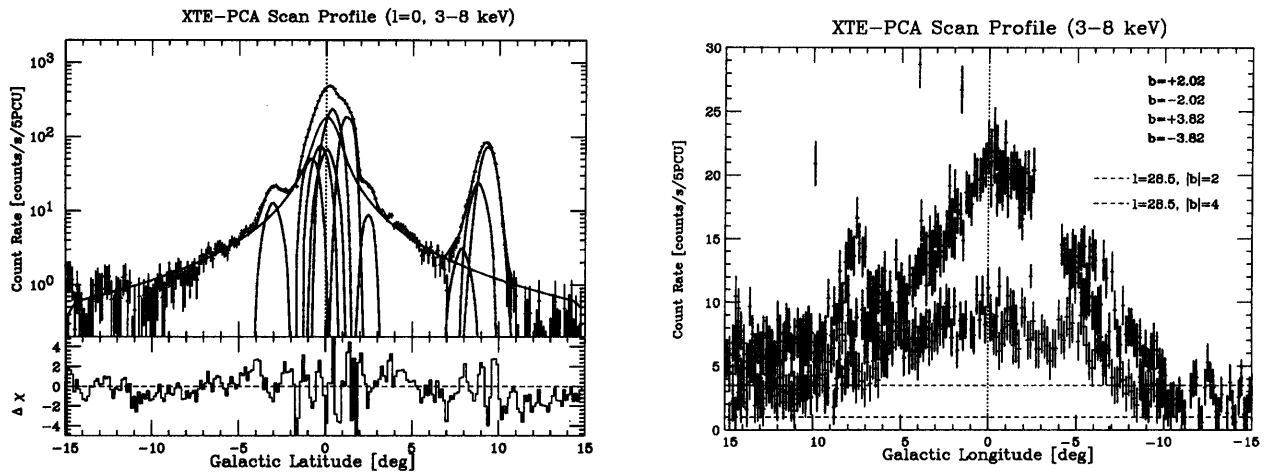


図 3: *RXTE* 衛星のスキャン観測から得られた、銀河系バルジの (左): 銀緯方向と、(右): 銀経方向の 3-8 keV バンドでの表面輝度分布。左図中の実線は、それぞれ、個別の天体とバルジ自身からの寄与、及びそれらの総和を示している。

域で良く観測されるバルジ内の星の分布ときわめて良く一致しており、X線バルジと、恒星が形成する銀河系バルジとに何らかの相関があることを強く示唆する。

また、本論文では、従来良く研究されてきた GRXE との比較を行うことで、両者の間にどのような相似と相違があるかについても調査した。上記と全く同様のスペクトル解析及びスキャンデータ解析を行った結果、少なくとも 3 keV 以上のエネルギーバンドにおいては、GRXE のスペクトルもバルジと同様な成分で良く表すことが出来、従って放射を行っている高温プラズマの性質にバルジと銀河面で大きな差がないことが明らかになった。また、特に銀緯方向の空間分布について調べたところ、実は GRXE も銀河面だけに局在するのではなく、バルジと同程度のスケールハイトを持つ成分が存在することを見出した。しかし、銀経 10° より外ではその表面輝度はバルジ放射に比べておよそ 4 倍以上低く、バルジとは明確に異なった成分であると考えられる。

以上の観測結果をもとに銀河系バルジ X 線放射の光度を求めると、2-10 keV で 1×10^{38} ergs s⁻¹ と、GRXE のおよそ半分程度に達する。さらにプラズマが銀河面より狭い領域に存在していることを考慮すると、単位体積当りのエネルギー放射率では GRXE を数倍上回る。X 線バルジの表面輝度分布はきわめてよく星の分布と相関しているが、この X 線光度は銀河系バルジに存在する古い星からの X 線放射だけではとうてい説明できず、真に拮がった高温プラズマが、なんらかのメカニズムによってバルジ内で加熱・加速されていることになる。一方で、高い銀緯まで伸びる GRXE とバルジ放射のスペクトル上の類似性は、同様なメカニズムが、銀河系のさらに広い範囲で粒子の加熱・加速を行っている可能性をも示唆していると考えられる。