

「すざく」衛星によって観測されたアンドロメダ銀河の重元素組成比

長谷川 俊介 (東京理科大学大学院 理学研究科)

Abstract

我々は「すざく」衛星に搭載された X 線 CCD 検出器 (視野~18 分角) を用いて、アンドロメダ銀河中心のバルジ領域を 4 分割し、スペクトル解析から高温ガスに含まれる鉄に対する酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素のアバundance比を決定した。解析領域に含まれる中性子星やブラックホールのような点源がスペクトルに及ぼす影響は、空間分解能の良い Chandra 衛星を用いて評価を行った。高温ガスに含まれる各重元素と鉄の原子個数比を取って超新星爆発のモデルと比較すると、アンドロメダ銀河中心領域では Ia 型超新星爆発と重力崩壊型超新星爆発が足し合わされていることが明らかになった。中心~3 分領域では酸素、マグネシウム/鉄比が太陽組成に比べてやや低くなり、3 分より外側の領域では酸素、マグネシウム/鉄比が太陽組成比とほぼ一致しており、我々の銀河系の組成と矛盾していない。また、「すざく」衛星により観測された他の渦巻銀河に付随する高温ガスの重元素組成とも比較を行い、3 分より外側ではスターバーストが見られない渦巻銀河と同様の重元素組成となった。

1 はじめに

ビックバン直後に合成された元素はほとんどが水素とヘリウムであり、後に炭素より重い元素 (重元素) が星の内部で合成されて超新星爆発や星からの質量放出によって宇宙空間にばらまかれた。

超新星爆発は、大きく 2 つに区別することができる。1 つは Ia 型超新星爆発で、主に鉄を供給する。もう 1 つは重力崩壊型超新星爆発で、主に酸素やマグネシウムといった比較的軽い元素を供給する。このように超新星爆発の種類によって主に供給される重元素が異なるため、重元素組成比からそれぞれの超新星爆発の寄与を考えることが可能である。スターバーストが見られない渦巻銀河 NGC4258 に付随する高温ガスの重元素組成は、太陽組成とほぼ一致した (Konami et al. 2009)。一方でスターバースト銀河 M82、NGC4631、NGC253 の高温ガスに含まれる酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素の組成比はほとんどが太陽組成比よりも高く、高温ガスは重力崩壊型超新星爆発から元素を豊富に供給されていることが明らかになった (Yamasaki et al. 2009; Konami et al. 2011; Mitsuishi et al. 2013)。

アンドロメダ銀河は、我々の銀河系近傍にある渦巻銀河である。ASCA、XMM 衛星の観測からアンドロメダ銀河のバルジに広がった X 線放射が確認され、

そのスペクトルは 0.6/0.3/0.1 keV の 3 温度の熱的放射で良く表された (Takahashi et al. 2001, 2004)。また、XMM 衛星搭載の回折格子検出器で得られた X 線スペクトルは中心数分領域で高温ガスからの輝線が確認され、酸素/鉄のアバundance比は 0.3 太陽組成程度という結果が得られた (Liu et al. 2010)。

我々は、「すざく」衛星によって観測されたアンドロメダ銀河中心のバルジ領域を 4 分割し、スペクトル解析から酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素、鉄のアバundanceを決定した。本研究ではハッブル定数として $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ を用いた。我々の銀河系からアンドロメダ銀河までの距離は 0.788 Mpc、水素柱密度は $N_{\text{H}} = 1.27 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ である。また、元素分布は太陽の元素組成 (Lodders 2003) を基準にしており、誤差は全て 90 % の統計誤差を引用する。

2 観測と解析方法

2007 年 1 月に X 線天文衛星「すざく」でおおよそ 100 ksec 観測されたアンドロメダ銀河中心のバルジ領域について、解析を行った。「すざく」衛星は日本で 5 番目の X 線天文衛星で低く安定したバックグラウンドという特長を持つため、比較的温度の低い高温ガスからの放射でも精度よく求めることが可能で

ある。本研究では「すざく」衛星に搭載された X 線 CCD 検出器 XIS(視野~18 分角) のデータのみを取り扱っている。XIS には 0、1、2、3 の 4 つがあるが、2006 年 11 月以降は XIS2 が故障してしまったため XIS0、1、3 のデータを用いた。図 1 に 0.2-2.0 keV における XIS0 の X 線画像を示す。図 1 のように観測領域を 4 分割して、高温ガスに含まれる重元素の空間分布を調べた。領域は銀河中心に近い方から region1、2、3、4 とする。

X 線スペクトルを各領域で作成し、高温ガスの成分は光学的に薄いプラズマからの放射モデルである APEC コード (Smith et al. 2001) を用いた。しかし得られるスペクトルは高温ガスからの放射だけでなく、様々なバックグラウンドを含めている。そこでバックグラウンドとして、宇宙 X 線背景放射、我々の銀河系からの放射をそれぞれモデルで表し高温ガスからの放射のみを考慮した。

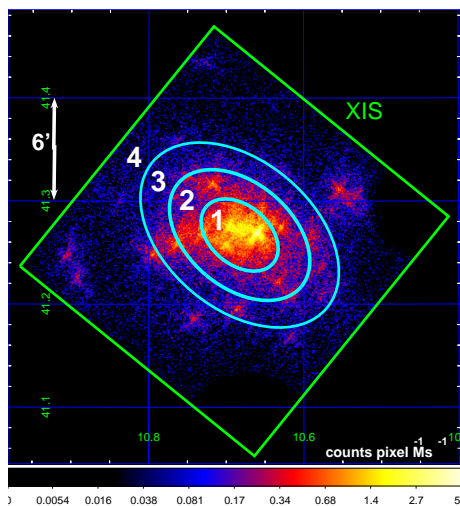


図 1: X 線 CCD 検出器 XIS0 によるアンドロメダ銀河中心領域の X 線画像。座標は J2000.0 分点。エネルギー帯域は 0.2-2.0 keV で銀河に付随する高温ガスが明るく見える。緑の四角は XIS の視野で、17.8 分×17.8 分である。水色の線で描かれているように、銀河中心領域を楕円状に区切り中心から region1、region2、region3 とし、残りの領域を region4 とした。

3 解析結果

3.1 Chandra 衛星による点源の寄与の評価

スペクトル解析の際は「すざく」衛星の観測領域に含まれる中性子星やブラックホールといった点源の影響を考慮する必要があるため、空間分解能の良い (~1 秒角) Chandra 衛星を用いて点源の寄与の評価を行った。Chandra 衛星によって、「すざく」衛星の観測領域内に検出された点源 (しきい値は 3σ) の数は 69 個であった。図 2 は、Chandra 衛星による検出された点源の X 線画像である。3 秒角の円領域で点源のスペクトルを作成し、全てのスペクトルを足し合わせて吸収成分 (phabs) にべき関数モデル (powerlaw) または熱制動放射モデル (bremss) をかけたモデルでフィッティングを行った。フィッティングの結果、表 1 に示したパラメータが求められ 8 keV の熱制動放射モデルで良く表された (図 3)。また、点源の光度を全て足し合わせると 2.24×10^{39} ergs s⁻¹ となった。

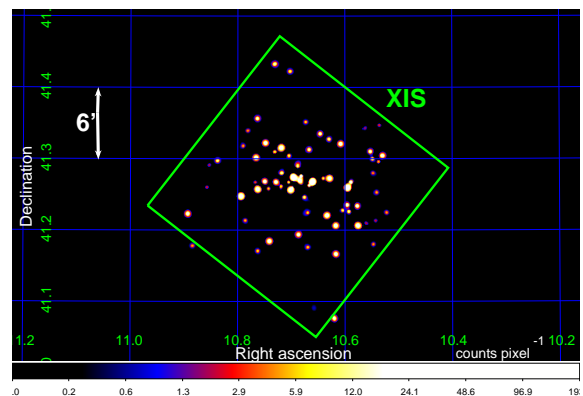


図 2: Chandra 衛星で検出された点源の X 線画像で、エネルギー帯域は 0.2-2.0 keV である。座標は J2000.0 分点。図中に緑の四角で表された領域が「すざく」衛星の XIS の視野で、この領域内に 69 個の点源を検出した。点源 1 つずつのスペクトルは 3 秒角の円領域で作成した。

表 1: Chandra 衛星により得られた点源スペクトルを全て足し合わせてフィッティングした結果

Parameters	powerlaw	bremss
$N_H (\times 10^{21} \text{ cm}^{-2})$	$1.15^{+0.39}_{-0.37}$	$1.10^{+0.23}_{-0.22}$
photon index _{powerlaw}	$1.55^{+0.08}_{-0.08}$	
kT_{bremss} [keV]		8.00(fix)
norm [counts keV ⁻¹ cm ⁻² s ⁻¹]	$1.07^{+0.10}_{-0.91} \times 10^{-4}$	$1.42^{+0.05}_{-0.05} \times 10^{-4}$
$\chi^2/d.o.f$	73/75	84/76

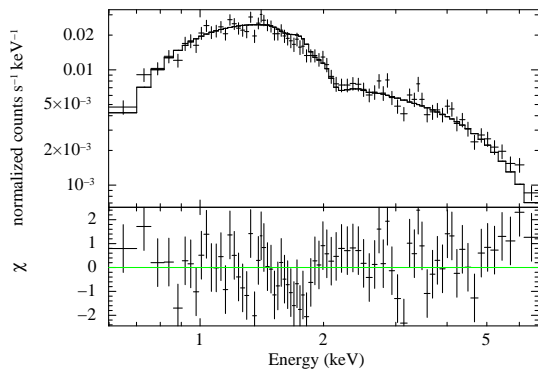


図 3: Chandra 衛星で検出された全点源からのスペクトル図 (上段)。エネルギー帯域は 0.5-7.0 keV。黒の実線は 8 keV の熱制動放射モデルを表している。下段はモデルとのずれを表している。

3.2 「すぎく」衛星によるスペクトル解析

初めに、region4 から Chandra 衛星で検出された点源と Chandra 衛星では検出されなかったが「すぎく」衛星で X 線放射が見えた領域を 1 分角の円で抜き、スペクトルフィッティングからバックグラウンドを求めた (図 4)。このバックグラウンドを用いて region1 から region4 のスペクトルフィッティングを行った。XIS1 のデータから作成した region3 のスペクトルを図 5 に示す。赤で表された高温ガスからの放射モデルは、重元素の輝線を検出している。高温ガスは全ての領域で $\sim 0.2 \text{ keV}$ と $\sim 0.5 \text{ keV}$ の 2 温度によって良く表された。

4 議論

アンドロメダ銀河中心領域について、高温ガスに含まれる鉄原子と他原子の個数比を取り、「すぎく」衛星で観測された他の渦巻銀河と比較したのが図 6

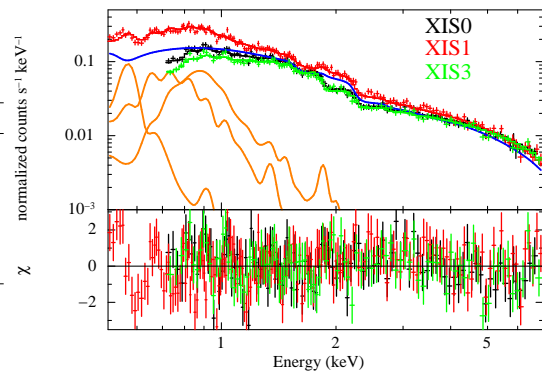


図 4: 上段にバックグラウンドを決めるためのスペクトルフィッティングを示し、下段にモデルとのずれを示した。黒が XIS0、赤が XIS1、緑が XIS3 のスペクトルである。エネルギー帯域は 0.5-7.0 keV。XIS1 に対するモデルの線だけを表示しており、青が宇宙 X 線背景放射、オレンジが我々の銀河系からの放射を表している。

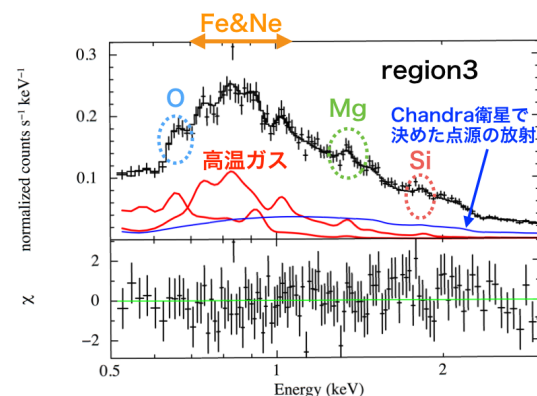


図 5: 上段が XIS1 のデータから作成した region3 のスペクトルで、下段がモデルとのずれを表す。エネルギー帯域は 0.5-3.0 keV。赤が高温ガスからの放射、青が Chandra 衛星で決めた点源からの放射を表す。

である。図 6 より、アンドロメダ銀河中心領域では Ia 型超新星爆発と重力崩壊型超新星爆発が足し合わされていることが明らかになった。region1 では酸素、マグネシウム/鉄比が太陽組成よりも少し低くなっているが、それより外側の領域ではほぼ太陽組成と一致した。region1 の結果は、中心数分領域で酸素/鉄比が太陽組成よりも低いという XMM 衛星回折格子分光器の結果 (Liu et al. 2010) と矛盾していない。ネ

オン/鉄比は全領域で太陽組成の 2 倍程度となった。しかしネオンの K 輝線と鉄の L 輝線群は 0.7-1.0 keV の範囲で重なり合っているため、ネオンのアバダンスは正しい結果かどうかの判断が難しい。またケイ素/鉄比はどの領域でも誤差が大きい、これは高温ガスの温度が低く輝線がはっきりと見えないためである。

スターバーストが見られる M82 の銀河風領域や NGC4631 のハロー、NGC253 では酸素、ネオン、マグネシウムの元素組成比が太陽組成比よりも高く、重力崩壊型超新星爆発の寄与が大きい (Yamasaki et al. 2009; Konami et al. 2011; Mitsuishi et al. 2013)。一方スターバーストが見られない NGC4258 に広がる高温ガスの元素組成は、ほぼ太陽組成に一致する (Konami et al. 2009)。図 6 から、アンドロメダ銀河の中心～3 分より外側に広がる高温ガスの重元素組成はスターバーストが見られない渦巻銀河と同様で、我々の銀河系の組成と矛盾は無い。

5 まとめ

「すぎく」衛星の観測から、アンドロメダ銀河中心のバルジ領域を 4 つに分けて、広がった高温ガスに含まれる重元素の空間分布を調べた。得られたスペクトルは高温ガスからの輝線をはっきりと検出しており、その温度は～0.2 keV と～0.5 keV の 2 温度で良く表された。重元素組成を調べると、アンドロメダ銀河中心領域では Ia 型超新星爆発と重力崩壊型超新星爆発が足し合わされていることが明らかになった。中心～3 分の領域では酸素、マグネシウム/鉄アバダンス比が太陽組成よりもやや低くなった。その外側では酸素、マグネシウム/鉄アバダンス比は太陽組成とほぼ一致しており、「すぎく」衛星でこれまでに観測されたスターバーストが見られない渦巻銀河と同様に、我々の銀河系の組成と矛盾していない。

Reference

Iwamoto, K., Brachwitz, F., Nomoto, K., et al. 1999, *ApJS*, 125, 439
 Konami, S., Sato, K., Matsushita, K., et al. 2009, *PASJ*, 61, 941

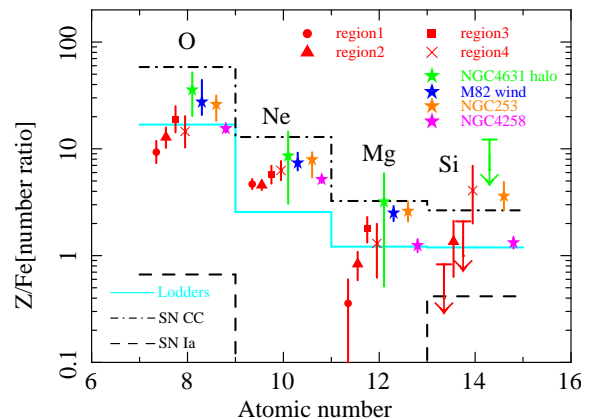


図 6: 高温ガスに含まれる鉄原子の個数と酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素の個数比を銀河ごとに比較した図。赤は本研究で求めたアンドロメダ銀河中心領域の結果。緑は NGC4631 ハロー (Yamasaki et al. 2009)、青は M82 銀河風領域 (Konami et al. 2011)、オレンジは NGC253 のディスクとハローの結果を平均した値 (Mitsuishi et al. 2013) を表しており、これらはスターバースト銀河である。マゼンタはスターバーストが見られない NGC4258 (Konami et al. 2009)。水色の線は太陽組成 (Lodders 2003) を表し、破線は Ia 型超新星爆発 (SN Ia) のモデル (Iwamoto et al. 1999)、一点破線は重力崩壊型超新星爆発 (SN CC) のモデル (Nomoto et al. 2006) を表す。

Konami, S., Matsushita, K., Tsuru, T. G., Gandhi, P., & Tamagawa, T. 2011, *PASJ*, 63, 913
 Konami, S., Matsushita, K., Gandhi, P., & Tamagawa, T. 2012, *PASJ*, 64, 117
 Liu, J., Wang, Q. D., Li, Z., & Peterson, J. R. 2010, *MNRAS*, 404, 1879
 Lodders, K. 2003, *ApJ*, 591, 1220
 Mitsuishi, I., Yamasaki, N. Y., & Takei, Y. 2013, *PASJ*, 65, 44
 Nomoto, K., Tominaga, N., Umeda, H., Kobayashi, C., & Maeda, K. 2006, *Nuclear Physics A*, 777, 424
 Smith, R. K., Brickhouse, N. S., Liedahl, D. A., & Raymond, J. C. 2001, *ApJL*, 556, L91
 Takahashi, H., Okada, Y., Kokubun, M., & Makishima, K. 2001, *PASJ*, 53, 1241
 Takahashi, H., Okada, Y., Kokubun, M., & Makishima, K. 2004, *ApJ*, 615, 242
 Yamasaki, N. Y., Sato, K., Mitsuishi, I., & Ohashi, T. 2009, *PASJ*, 61, 291