

「すざく」を用いた大マゼラン雲内超新星残骸 B0532-675 の元素組成の決定

中谷 創平 (埼玉大学大学院 理工学研究科 田代・寺田研究室)

Abstract

宇宙の化学進化は現代天文学の一つの重要な問題である。重元素は、ほとんどが超新星爆発を通して生成されているため、より高い精度で観測されたサンプルを用いた超新星残骸の系統的な探査が重要な手がかりとなる。そのため、これまでに多くの SNR が観測されてきたが、星間物質による吸収の影響に加え、天体までの距離が不明瞭であるためにプラズマの状態を正確に決定するのは容易ではない。大マゼラン雲 (LMC) は銀河系からの距離が 48 kpc の伴銀河であり、銀河系と Face-on の位置にある。そのため、銀河による星間吸収が少なく、プラズマの組成を正確に決定するのに適している。また LMC は重元素量が銀河系の 4 分の 1 程度と少なく、より宇宙初期に近い環境下での星形成を知ることができる。そのため、我々は LMC のアバundanceをより正確に決定するためのサンプルを加える目的で、低バックグラウンド観測が可能な *suzaku* XIS で観測された B0532-675 のデータ解析を行った。解析の結果、B0532-675 から 0.2 - 3 keV の領域に X 線の放射の存在が確認された。我々は、その放射スペクトルを非平衡電離プラズマモデルでフィッティングすることで、プラズマの O, Ne, Mg, Si, Fe の元素組成比を決定した。解析より求めた元素組成比は Hughes et al. 1998 等で求められている LMC アバundanceに近い値を示した。本講演では、この解析結果について議論する。

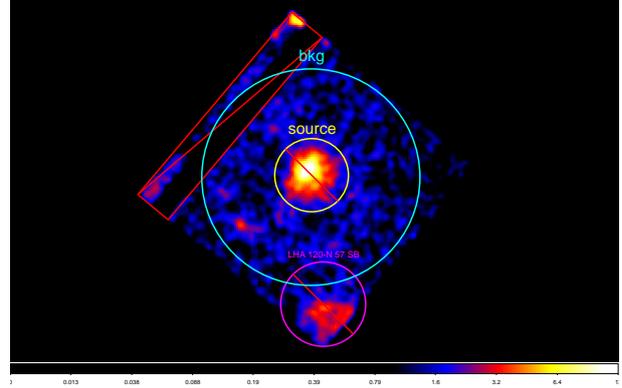
1 Introduction

宇宙の化学進化は現代天文学の一つの重要な問題である。重元素は、ほとんどが超新星爆発を通して生成され、宇宙空間へと蓄積されてきている。そのため、宇宙の化学進化を理解する上では、より高い精度で観測されたサンプルを用いた超新星残骸の系統的な探査が重要な手がかりとなる。大マゼラン雲 (LMC) は銀河系からの距離が 48 kpc の伴銀河であり、銀河系と Face-on の位置にある (Macri et al. 2006)。そのため、銀河による星間吸収が少なく、地球から LMC までの距離に比べて LMC 内の SNR 毎の地球との距離の差が気にならない。そのため、LMC は非常に良い観測対象であり、これまでに数多くの系統的な SNR 探査が行われてきた (e.g., Williams et al. 1999)。さらに、LMC は重元素量が銀河系の 4 分の 1 程度と少ないことが知られており、LMC アバundanceを正確に決定することで、より宇宙初期に近い環境下での化学進化を知ることができるかもしれない。

しかしながら、我々が所有する超新星残骸のサンプルは少なく、より高精度で LMC Abundance を同定するためには、高精度で観測された SNR のサンプルが必要である。B0532-675 は電波帯域 843 MHz での観測により、ふたつのピークをもつ構造であり、電波銀河または SNR である可能性が示された (Mathewson et al. 1985)。さらに、ROSAT での観測において超新星残骸であることが示された (Carles et al. 2010)。Hughes et al. (1998) において調査されている 7 つの SNR は Flux が $\times 10^{-11}$ ergs/cm²/s 程度であり、B0532-675 はそれよりも一桁から二桁ほど暗い天体であると考えられている。したがって、SNR の年齢や電子密度、プラズマの元素組成を決定することで、LMC の銀河初期の組成を同定するために暗い天体のサンプルを加えることができる。そのため、我々は低エネルギー側で高いエネルギー分解能を持つ *suzaku* XIS で観測された B0532-675 のデータ解析を行った (Mitsuda et al. 2007; Koyama et al. 2007)。

表 1: Observation log

Observation ID	806007010
Observation mode	no Burst, Full window
Start date (UT)	2011/11/06
Exposure (ks)	82.5
RA	RA : 05h32m30s
Dec	Dec : -67d31'33"



2 Observation and Data Reduction

すざくは4つのモジュールからなる XIS を搭載している (Koyama et al. 2007)。4つのモジュール (センサー) はそれぞれ XIS0, XIS1, XIS2, XIS3 と呼ばれている。このうち XIS0, XIS2, XIS3, は Frontside-Illuminated (FI) CCD である。XIS1 は Backside-Illuminated (BI) CCD であり低エネルギーの X 線に対して高い検出効率を得ることができる。集光を行う X-Ray Telescopes は XRT と呼ばれ、レプリカ法 (thin-foil-nested X-ray mirrors) で作成され、XIS と合わせ 0.2 - 12 keV 帯域の観測を行うことができる (Serlemitsos et al. 2007)。

B0532-675 は 2011 年 11 月 06 日の 14:57:00 から 07 日の 03:46:00 にすざく衛星を用いて観測された。observation log は、表 1 である。

3 Results

3.1 Image Analysis

図 1 は Suzaku XIS 0 で観た 0.2 - 12 keV 帯域の B0532-675 とコンタミの LHA 120-N 57 SB のイメージである。イメージは 3x3 と 5x5 モードを足し合わせたものである。イメージより円状に広がった B0532-675 を見ることができる。

X 線放射領域と電波の放射領域を比較してみる (図 2)。電波帯域は、Mathewson et al. (1985) によって観測された電波 843 MHz の SNR のデータである。電波帯域は X 線放射領域の円形の広がりとは異なり

図 1: XIS 0, 3x3 と 5x5 モードを足した、0.2 keV - 12keV のイメージ。カラーバーはカウントを表す。smoothing しており log スケール、8bin まとめしている。Yellow の半径 2.71 arcmin, 中心座標 RA 05h32m20s ,Dec -67d31'36" の円がソース領域。Magenta の半径 3.12 arcmin, 中心座標 RA : 05h32m11s ,Dec : -67d41'10" の円が LHA 120-N 57 SB。Red の長方形が XIS anomaly。Cyan の半径 8.02 arcmin の円からソース領域と LHA 120-N 57 SB, XIS anomaly を除いたものがバックグラウンド領域。Cyan の円は XIS に取り付けられている 2 か所の ^{55}Fe キャルソースを避ける位置にある。

northeast から southeast に広がる shell 構造をしている。X 線を放射している最も明るく見える部分は電波帯域のコントアの north の shell と一致している。我々はこの一致している領域を体積を求める際の SNR の領域として使用した。

3.2 Spectral Analysis

スペクトル解析では XSPEC version を使用した。データには FI-CCD である XIS 0, 3 を足し合わせたものと BI-CCD である XIS 1 のデータを使用した。

銀河系内の吸収モデルに phabs ,LMC の吸収として、アバンドランスの値を変更できる vphabs を使用した。phabs での n_{H} の値は $N_{\text{H}}^{\text{Galactic}} = 5.96 \times 10^{20} \text{cm}^{-2}$ を使用した。(Dickey, J. M., & Lockman, F. J.1990) 元素組成比は Anders & Grevesse (1989), の値を基にしている。LMC による吸収を再現するモ

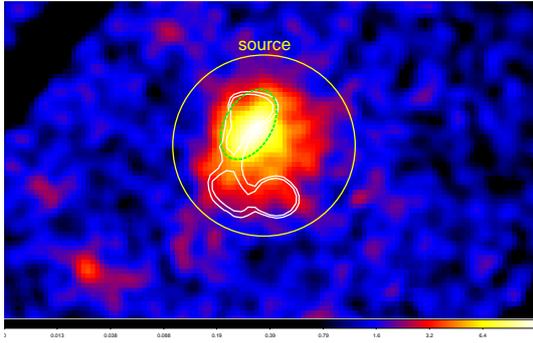


図 2: Suzaku で観測された B0532-675 (Yellow の円) に電波 843MHz のコントアを重ねたイメージ。コントアは log スケール。Levels は 0.01 and 0.05 mJy beam⁻¹。green の 1.14 × 0.70 arcmin の点線の楕円は電波のコントアから推定した B0532-675 の体積を求める際に用いる領域である。

デル、vphabs での アバundance は Russell & Dopita (1992) での値を使用した。ただし、Si については不定性が大きいので Hughes et al. (1998) の値を使用してフィッティングし、結果のスペクトルを比較した。

プラズマからの放射を再現するモデルとして Abundance を変更できる vnei モデルを用いてフィッティングした。Abundance は O, Ne, Mg, Si, Fe を free にし、その他の Abundance は Russell & Dopita (1992) における LMC Abundance の値を使用した。結果が図 3 である。結果 $\chi^2/d.o.f.$ が 488.37 / 453 (= 1.078) となり、vnei model でスペクトルが十分再現できている。

4 Discussion

4.1 Densities, Swept-up Mass

vphabs での Abundance の値を Russell & Dopita の値とした場合について、vnei モデルを用いたスペクトルフィッティングにより求めたパラメータから、プラズマの質量、年齢、を求める。結果は表 2 の値となった。

Densities, Swept-up Mass を求めるためには SNR の Volume を見積もる必要がある。体積は、表 2 における green の点線で示した 1.14 × 0.70 arcmin の

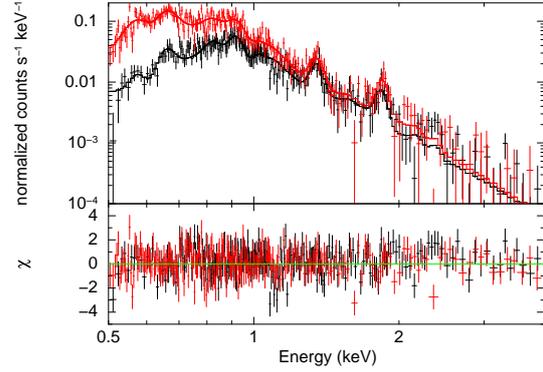


図 3: vnei モデルでフィッティングしたスペクトル。帯域は 0.5 keV - 4.0 keV。黒線が XIS0 + 3、赤線が XIS 1 のデータ。

表 2: vnei モデルでのフィッティング結果から求めたプラズマの密度、質量、年齢

Property	Value
$V(\times 10^{59} \text{cm}^{-3})$	1.89
$n_e (\text{cm}^{-3})$	$0.29_{-0.05}^{+0.07} f_{0.1}^{-1/2}$
$t_{\text{ion}}(\times 10^3 \text{yr})$	$1.66_{-0.03}^{+0.04} f_{0.1}^{1/2}$
$M(\text{Solar Mass})$	$10.8_{-0.3}^{+0.5} f_{0.1}^{1/2}$

楕円を、電波から推定した超新星残骸の大きさとして見て求める。体積は短軸回転楕円体を仮定して計算した。

4.2 Abundance

求めた質量と年齢より、B0532-675 の中で X 線を放射しているのは ejecta だけではなく大部分が Swept-up ISM であると考えられる。そこで spectral analysis より求めた Abundance を Hughes et al. (1998) において調べられている LMC Abundance の値と比較してみる。比較するのは、O, Ne, Mg, Si, Fe の 4 元素についてである。

結果は、LMC Abundance に近い Abundance pattern を示した。また、Si の値については ASCA 衛星を用いた Hughes et al.(1998) の結果より高い精度で測定することができた。

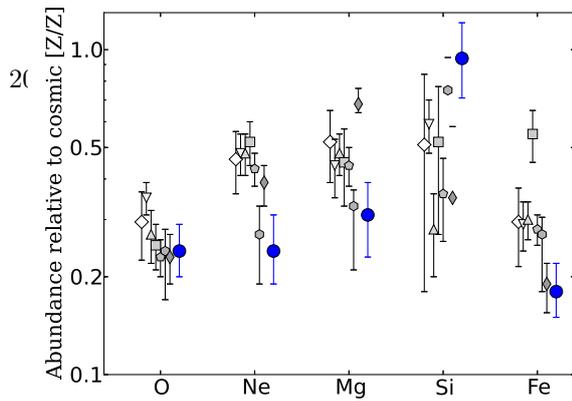


図 4: vnei モデルを用いた spectral fitting より求めた B0532-675 の O, Ne, Mg, Si, Fe 元素の絶対 Abundance と Hughes et al. (1998) で示されている 7 つの SNR の絶対 Abundance の比較。

5 Conclusion

解析の結果、われわれは、B0532-675 から 0.2 - 3 keV の領域に X 線の放射の存在が確認した。我々は、その放射スペクトルを非平衡電離プラズマモデルでフィッティングすることで、これまではっきりと決まっていなかった重元素 O, Ne, Mg, Si, Fe の元素組成比を決定し、さらにプラズマ温度が約 0.5 keV であることを突き止めた。また、B0532-675 の Flux は FI-CCD において $8.50^{+0.25}_{-0.42} (\times 10^{-13} \text{ ergs/cm}^2/\text{s})$ 程度であり、Hughes et al. (1998) において調査されている 7 つの SNR の Flux よりも二桁ほど暗い天体であることがわかった。

さらに、アバundanceに関して、ASCA 衛星を用いて SNR の系統調査をおこなった Hughes et al.(1998) でもとめられている、LMC Abundance に近い Abundance pattern を示すことがわかった。スペクトル解析から、B0532-675 の質量、年齢、を求めた。

Reference

Carles, B. Dan, Maoz. Bruce, T. Draine 2010 ApJS,

Dickey, J. M., Lockman, F. J. 1990, *araa*, 28,215

Hughes, J. P., Hayashi, I., & Koyama, K. 1998, *ApJ*, 505, 732
Koyama, K., et al. 2007, *PASJ*, 59, S23

Macri, L. M., Stanek, K. Z., Bersier, D., Greenhill, L. J., & Reid, M. J. 2006, *ApJ*, 652, 1133

Mathewson, D. S., Ford, V. L., Tuohy, I. R., et al. 1985, *ApJS*, 58, 197

Mitsuda, K., et al. 2007, *PASJ*, 59, S1

Russell, S. C., & Dopita, M. A. 1992, *apj*, 384, 508