



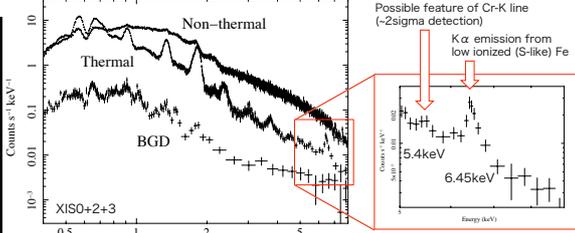
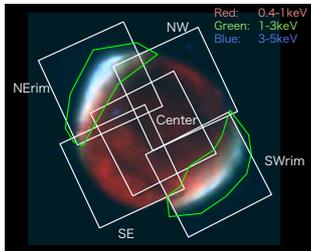
すざくによる銀河系内超新星残骸の観測

内田裕之、八隅真人、菅原隆介、中島真也、信川正順、田中孝明、鶴剛、小山勝二 (京都大学)



Abstract 我々はX線天文衛星すざくを用いて多数の銀河系内超新星残骸 (SNR) を観測してきた。SNRはその周辺環境の影響を受けて様々な形態を取る。エネルギー分解能に優れたすざくXISのスペクトル解析からはその素性を明らかにすることができる。我々は希薄なISMにあるSN1006、分子雲と衝突する3C397、G349.7+0.2の観測を行った。爆発噴出物の重元素量の測定から、前二者はIa型、後者は重力崩壊型の可能性が高い。我々の研究はSNRの起源とその後の生育歴がSNRの多種多様なX線スペクトルに大きく影響することを示している。本発表ではそれぞれの研究結果の詳細を報告する。

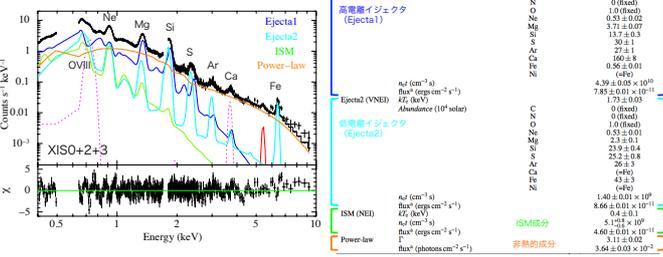
1) 星間密度の一樣希薄な環境下でのIa型爆発: SN1006



Object	Obs ID	RA NOM	DEC NOM	Exp. Time	Date
SN1006 Center	502046010	225.7	-41.9	211.7 ks	20090314

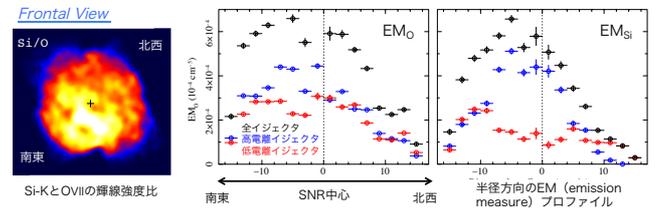
Ia型超新星の詳しい爆発機構はまだ明らかになっていない。近年の系統的な研究(Maeda+2010)から、系外超新星のイジェクタは非等方的に噴出することが示唆されている。爆発時の何らかの非対称性がIa型超新星の成否の鍵を握ると考えられる。SN1006は高銀緯($b=14^\circ.6$)に位置するIa型SNRであり周辺密度は一樣希薄である(Dubner+2002)。年齢も若く、イジェクタの空間分布から爆発時の非対称性を検証するのに適した天体である。我々はX線天文衛星すざくを用いてSN1006を複数回観測し、他のどの検出器よりも統計の良い(合計400 ks)データを取得した。特に中心部は ~ 230 ksの長期観測を行っている(左表)。左図にSN1006の熱的/非熱的X線スペクトルを示す。結果としてSN1006全域から熱的成分を検出した。また、5 keV付近にCr-K輝線と思われる構造を初めて発見した。我々はSE領域を観測した先行研究(Yamaguchi+2008)を元に熱的スペクトルのモデルフィットを行った。

SN1006熱的スペクトル解析



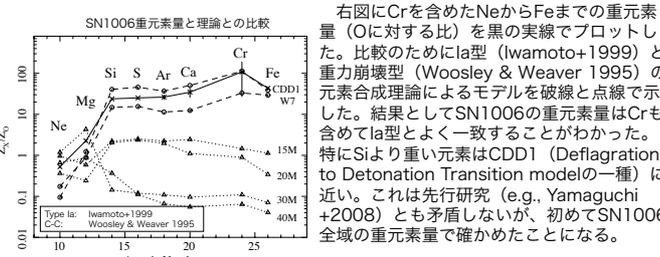
Component	Parameter	Value
Absorption	N_H ($\times 10^{22}$ cm $^{-2}$)	6.80 ± 0.07
	kT_e (keV)	0.4 ± 0.1
	Abundance (10^4 solar)	0.0(0.0)
Ejecta1 (VNE)	n (0.0-1.0)	0.0(0.0)
	kT_e (keV)	0.53 ± 0.02
	Abundance (10^4 solar)	3.73 ± 0.07
Ejecta2 (VNE)	n (0.0-1.0)	0.0(0.0)
	kT_e (keV)	1.73 ± 0.03
	Abundance (10^4 solar)	0.4 ± 0.1
ISM (NEI)	n (0.0-1.0)	$1.40 \pm 0.01 \times 10^3$
	kT_e (keV)	0.4 ± 0.1
	Abundance (10^4 solar)	$4.60 \pm 0.01 \times 10^{11}$

幾何中心からずれた非対称な重元素分布の発見



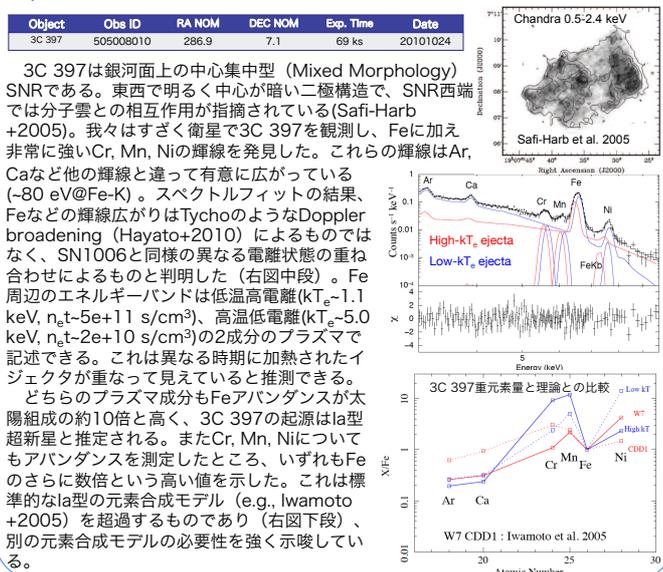
SN1006は見かけ上真円に近いSNRである。一方、左上図に示したSi-KとO-Kバンドイメージの比から、特に重元素は南東で多いことが予想される。実際、Yamaguchi+2008はFeが南東に偏っていることを示唆している。そこで、本研究ではSN1006を円環に区切って解析を行った。この結果、Si, S, Arの重元素が南東に $\sim 5'$ (3.2 pc) 偏って分布することを発見した(右上図)。また、Feも南東部に北西部の数倍の重元素量を示すことがわかった。一方、Winkler+2005は背景天体のUV吸収線の観測から、重元素分布には視線方向奥にも偏りがあると指摘している。以上を総合すると、SN1006の三次元的な空間分布を初めて明らかにすることができる。下図のように、層構造のイジェクタが視線方向奥および南東に偏っていると考える。逆行衝撃波は中心まで到達していないため、X線で観測可能なイジェクタは図のグレーの部分に限られる。こうしてIa型SNRの重元素分布の全貌を明らかにしたことで、数ある爆発理論を観測的に制限する手掛かりを初めて得ることができた。

SN1006熱的領域のX線スペクトルはISM成分、非熱的成分の他に2成分のイジェクタの重ねあわせで記述できる。低温(高電離)と高温(低電離)イジェクタの電離度はそれぞれ $4.4e+10$ s/cm 3 と $1.4e+9$ s/cm 3 で有意に異なる。Yamaguchi+2008の解釈を援用すると、逆行衝撃波で加熱されたイジェクタと過去に加熱されたイジェクタが同時に見えていると考えられる。Fe-K輝線は高温イジェクタのみで説明でき、SN1006の中心に集中しているため加熱が進んでいないと考えたと観測結果をうまく説明できる。



右図にCrを含めたNeからFeまでの重元素量(Oに対する比)を黒の実線でプロットした。比較のためにIa型(Iwamoto+1999)と重力崩壊型(Woosley & Weaver 1995)の元素合成理論によるモデルを破線と点線で示した。結果としてSN1006の重元素量はCrも含めてIa型とよく一致することがわかった。特にSiより重い元素はCDD1 (Deflagration to Detonation Transition modelの一種)に近い。これは先行研究(e.g., Yamaguchi+2008)とも矛盾しないが、初めてSN1006全域の重元素量で確かめたことになる。

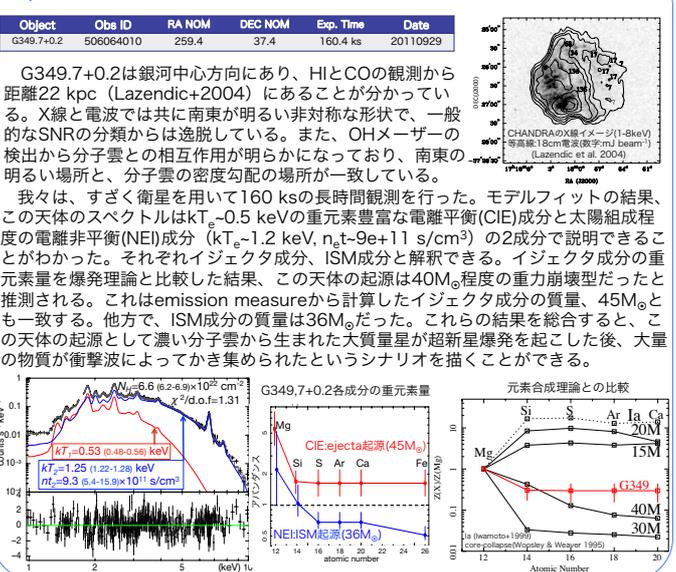
2) 分子雲と衝突した非対称SNR: 3C 397



3C 397は銀河面上の中心集中型 (Mixed Morphology) SNRである。東西で明るく中心が暗い二極構造で、SNR西端では分子雲との相互作用が指摘されている(Safi-Harb+2005)。我々はすざく衛星で3C 397を観測し、Feに加え非常に強いCr, Mn, Niの輝線を発見した。これらの輝線はAr, Caなど他の輝線と違って有意に広がっている(~ 80 eV@Fe-K)。スペクトルフィットの結果、Feなどの輝線がTychoのようなDoppler broadening (Hayato+2010)によるものではなく、SN1006と同様の異なる電離状態の重ね合わせによるものと判明した(右図中段)。Fe周辺のエネルギーバンドは低温高電離($kT_e=1.1$ keV, $n_e t=5e+11$ s/cm 3)、高温低電離($kT_e=5.0$ keV, $n_e t=2e+10$ s/cm 3)の2成分のプラズマで記述できる。これは異なる時期に加熱されたイジェクタが重なって見えていると推測できる。

どちらのプラズマ成分もFeアバンドスが太陽組成の約10倍と高く、3C 397の起源はIa型超新星と推定される。またCr, Mn, Niについてもアバンドスを測定したところ、いずれもFeのさらに数倍という高い値を示した。これは標準的なIa型の元素合成モデル(e.g., Iwamoto+2005)を超過するものであり(右図下段)、別の元素合成モデルの必要性を強く示唆している。

3) 濃い分子雲中での超新星爆発: G349.7+0.2



G349.7+0.2は銀河中心方向にあり、HIとCOの観測から距離22 kpc (Lazendic+2004)にあることが分かっている。X線と電波では共に南東が明るい非対称な形状で、一般的なSNRの分類からは逸脱している。また、OHメーザーの検出から分子雲との相互作用が明らかになっており、南東の明るい場所と、分子雲の密度勾配の場所が一致している。

我々は、すざく衛星を用いて160 ksの長時間観測を行った。モデルフィットの結果、この天体のスペクトルは $kT_e=0.5$ keVの重元素豊富な電離平衡(CIE)成分と太陽組成程度の電離非平衡(NEI)成分($kT_e=1.2$ keV, $n_e t=9e+11$ s/cm 3)の2成分で説明できることがわかった。それぞれイジェクタ成分、ISM成分と解釈できる。イジェクタ成分の重元素量を爆発理論と比較した結果、この天体の起源は $40M_\odot$ 程度の重力崩壊型だったと推測される。これはemission measureから計算したイジェクタ成分の質量、 $45M_\odot$ とも一致する。他方で、ISM成分の質量は $36M_\odot$ だった。これらの結果を総合すると、この天体の起源として濃い分子雲から生まれた大質量星が超新星爆発を起こした後、大量の物質が衝撃波によってかき集められたというシナリオを描くことができる。