

HCO⁺ J=1-0, CO J=3-2輝線による 超新星残骸W44の膨張運動の解析(II)

指田朝郎 岡朋治 田中邦彦 (慶應義塾大学) 瀬田益道 永井誠 (筑波大学)

Abstract

W44は、約3×10⁵太陽質量の巨大分子雲が付随するII型超新星爆発の残骸で、電波連続波でシェル状の形態を有する一方で中心集中型のX線を示す、混合形態(mixed-morphology)型超新星残骸である。超新星爆発が引き起こす衝撃波は、星間ガスを加熱・圧縮し化学組成を大きく変化させると共に、星間ガスに膨大な運動エネルギーを与えると考えられている。理論的研究からは、超新星爆発のバリオンエネルギーのごく一部 η-数% が星間ガスの力学的エネルギーに変換されると予想されているが、実際の観測から確認された例はほとんど無かった。

我々のグループはミリ波帯においてW44の分子スペクトル線観測を勢力的に行い、HCO⁺輝線でW44に付随する分子雲中にある微弱な「拡散」高速度wing成分の空間的広がりをほぼ完全に掌握した。また、CO J=3-2輝線では、「拡散」高速度wing成分と同じ方向にやや速度幅の広い拡散成分(SEMBE)が検出されるが、これも緩く膨張運動していることが見出された。これらの膨張速度と分子雲の質量からW44によって分子雲に与えられたエネルギーは(2.2-2.4)×10⁴⁹ ergと評価される。また、分子雲中の1点において極めて速度幅の広い(σ_v≃30 km s⁻¹)wing成分を検出した。今現在、この超高速度COwingの起源は不明である。

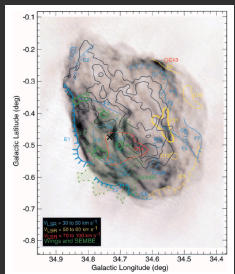


Fig.1 W44領域の1.4 GHz連続波の強度分布(灰色; Jones et al. 1993)とX線の強度分布(黒線; Rho et al. 1994). Seta et al. 2004より抜粋

Observations & Results

• HCO⁺ J=1-0輝線 (89.188526GHz)

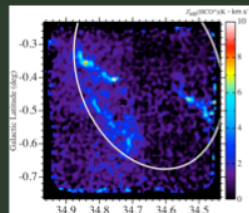
2010年の4~5月に野辺山45m電波望遠鏡を用いて観測

観測モードはOTF、中心座標は(l,b)=(34.7°, -0.5°)、観測範囲は約0.5°×0.5°、周波数分解能は31.25 kHz、速度分解能は0.1 km s⁻¹、map gridは17"



© 国立天文台

Fig.2 NRO電波望遠鏡(左)とHCO⁺ J=1-0輝線の積分強度図(右)



W44に付随する分子雲との相互作用領域に「拡散」高速度wingを検出

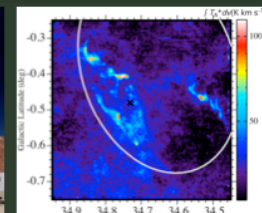
• CO J=3-2輝線 (345.795989GHz)

2011年の6月及び11月にASTE10 m望遠鏡を用いて観測

観測モードはOTF、中心座標は(l,b)=(34.7°, -0.5°)、観測範囲は約0.5°×0.5°、周波数分解能は1150 kHz、速度分解能は1 km s⁻¹、map gridは8.5"



Fig.3 ASTE電波望遠鏡(左)とCO J=3-2輝線の積分強度図(右)



CO J=3-2/1-0比を取りwing成分: 3-2/1-0比 > 0.5 非wing成分: 3-2/1-0比 < 0.5 と分け別々に解析

非wing成分中のSEMBEから緩い膨張運動を検出

Analysis

1, 3次元fitsの作成

nostarを用いて3次元のfits形式のデータをraw dataから作成

CO J=3-2輝線データをwing成分と非wing成分に分類

2, 分子雲の速度構造の把握

ノイズやW44と関係ない成分を取り除き、

各座標ごとに速度の重心と速度分散の大きさを計算(Fig4)

$$\bar{v} = \frac{\int v f(v) dv}{\int f(v) dv} \quad \sigma_v = \sqrt{\frac{\int v^2 f(v) dv}{\int f(v) dv} - \bar{v}^2}$$

3, 超新星残骸の膨張速度の導出

超新星残骸の膨張運動を楕円体と仮定

楕円体のx軸、y軸が天球面上にあり、

長軸の半径r_l=18.0'、短軸の半径r_s=12.7'、長軸と銀経の間の角度を70°とした

これから超新星残骸の視線方向の膨張速度v_zは以下のように表すことが出来る

$$v_z = V_{SNR} \sqrt{1 - s^2} \quad s^2 = \frac{x^2}{r_l^2} + \frac{y^2}{r_s^2}$$

V_{SNR}: 超新星残骸の膨張速度

各座標ごとのsの値と速度重心の値の関係をプロット(Fig.5)

4, 分子雲の質量と力学的エネルギーの評価

輝線の積分強度から以下の関係式を用いて質量を算出

$$M = 2\mu m_H X D^2 \iint dldb \cdot I$$

μ: 平均分子質量、m_H: 水素原子質量、X: 比例係数、D: W44までの距離

また次式から分子雲の力学的エネルギーを計算

$$U = (2.2-2.4) \times 10^{49} \text{ erg}$$

ちなみに、Hiシエルダとエネルギーは8.0×10⁴⁹ ergという報告がある(Koo et al. 1995)

$$U = U_e + U_i = \frac{1}{2} M V_{SNR}^2 + \frac{3}{2} M (\langle \sigma_v^2 \rangle_b - \langle \sigma_v^2 \rangle_n)$$

<σ_v²>_b: 動的成分の速度分散、<σ_v²>_n: 静的成分の速度分散

5, 変換効率ηの評価

相互作用領域は超新星爆発による衝撃波面的一部分のみ

天球面上に投影した相互作用領域と超新星残骸の面積比を立体角比とする

補正された分子雲が得る運動エネルギー量は(1.9-2.7)×10⁵⁰ erg

典型的な超新星爆発が放出するエネルギー(10⁵¹ erg)に対する割合(=η)は

η=0.19-0.27

ちなみに、超新星爆発が放出するエネルギーは10⁵¹ ergより大きいものもあるという

報告が複数ある(Reach et al. 2005, Nomoto et al. 2006など)

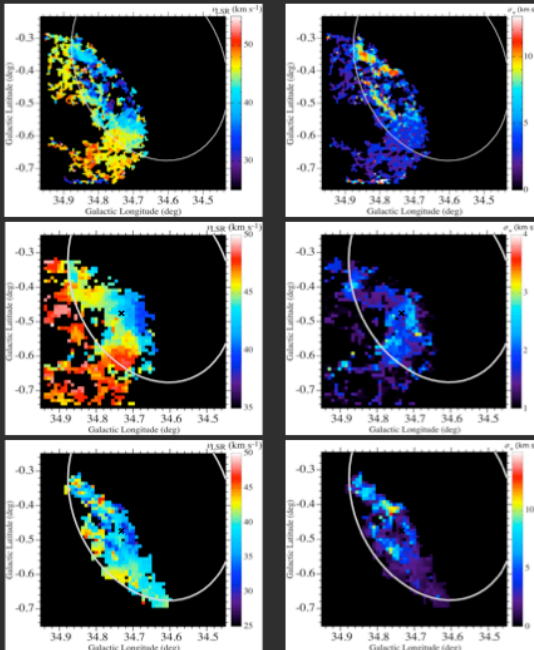


Fig.4 各輝線の速度重心(左列)と速度分散(右列)の空間分布、上段はHCO⁺ J=1-0、中段はCO J=3-2の非wing成分、下段はCO J=3-2のwing成分

超高速度wing

CO J=3-2輝線観測で(l,b)=(34.725, -0.472)の地点(fig.1~4の×地点)に極めて高速度なwing成分を発見、このwing成分は速度重心が7.4 km s⁻¹、速度分散が30.0 km s⁻¹、上記の方法でエネルギーを計算すると6×10⁴⁸ ergである。現在のところこのwingの起源は不明

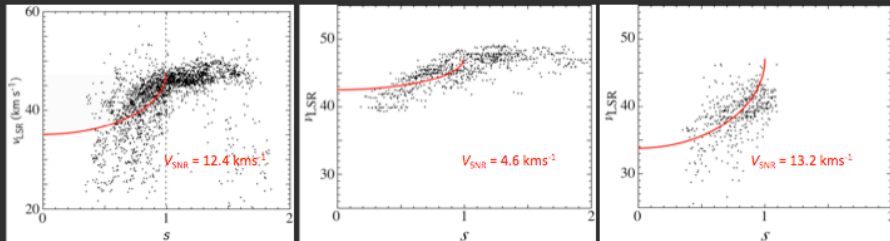


Fig.5 各輝線における超新星残骸の中心からの距離(s)と速度重心の関係、左からHCO⁺ J=1-0、CO J=3-2の非wing成分、CO J=3-2のwing成分

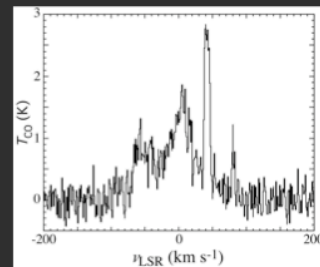


Fig.6 超高速度wingのスペクトル

まとめ

超新星残骸W44をHCO⁺ J=1-0輝線およびCO J=3-2輝線で観測
HCO⁺ J=1-0輝線の観測で分子雲中に「拡散」高速度wingを検出
CO J=3-2輝線の観測からSEMBE成分の緩い膨張運動を検出
相互作用領域中の分子雲の力学的エネルギーは(2.2-2.4)×10⁴⁹ erg、変換効率ηの値は0.19-0.27
(34.725, -0.472)の地点に極めて高速度なwing成分を発見、現在の所、起源は不明

The authors thank the Yukawa Institute for Theoretical Physics at Kyoto University, where this work was initiated during the YITP-W-12-08 on "Summer School on Astronomy & Astrophysics 2012".