

超新星残骸W28領域の分子雲詳細解析および TeV γ 線放射との比較

[1]

○ 榎谷 玲依、大石 慧介、鳥居 和史、中島 嘉久、佐野 栄俊、森部 那由多、奥田 武志、山本 宏昭、河村 晶子、福井 康雄(名大理)、前澤 裕之、水野 亮(名大STE)、大西 利和(大阪府立大)、水野 範和(国立天文台)、G.Rowell(アデレード大学)

- Abstract -

超新星残骸は宇宙線の主要な加速源であると考えられている。超新星残骸の衝撃波面で加速された電子からの硬X線が観測され(Bamba et al.2008)、宇宙線電子加速が観測的に確認されつつある。一方で、宇宙線の主要成分である陽子が超新星残骸で加速されている観測的証拠は未だ得られていない。しかし、近年RXJ1713.7-3946や本研究で述べるW28などいくつかの超新星残骸周辺で、宇宙線陽子起源と見られるガンマ線が検出され注目を集めている。W28は距離約1.8-4.0kpc、年齢35000-150000年の複合型超新星残骸である。北側での広いスペクトル線幅からW28には分子雲(W28North, North East)が付随していることが示されている(Wootten et al.1981, Arikawa et al.1999, Reach et al.2005)。また、超新星残骸の南側の分子雲(W28South)はH II 領域に付随することが示されている(Kim&Koo2003)。さらにこれら南北の分子雲は、H.E.S.S.によってTeVガンマ線が検出されており、宇宙線陽子加速の観点でも注目される領域である。我々は「なんてん」の観測結果を基にNANTEN2を用いて $^{12}\text{CO}(2-1)$ 輝線の観測をW28領域全体で行い分子ガスの詳細な分布を初めて明らかにした。さらにより詳細に探るためにNANTEN2を用いて $^{13}\text{CO}(2-1)$ 輝線の観測を領域全体で行った。本研究ではこれらの観測データの解析を行い、W28領域の南北の分子雲は一体であり、超新星残骸起源の宇宙線陽子加速が南北の分子雲に衝突し、領域全体のガンマ線放射にかかわっているということが示唆されるという結果を得た。これは超新星残骸での宇宙線陽子加速を観測的に支持するものである。

SNR W28

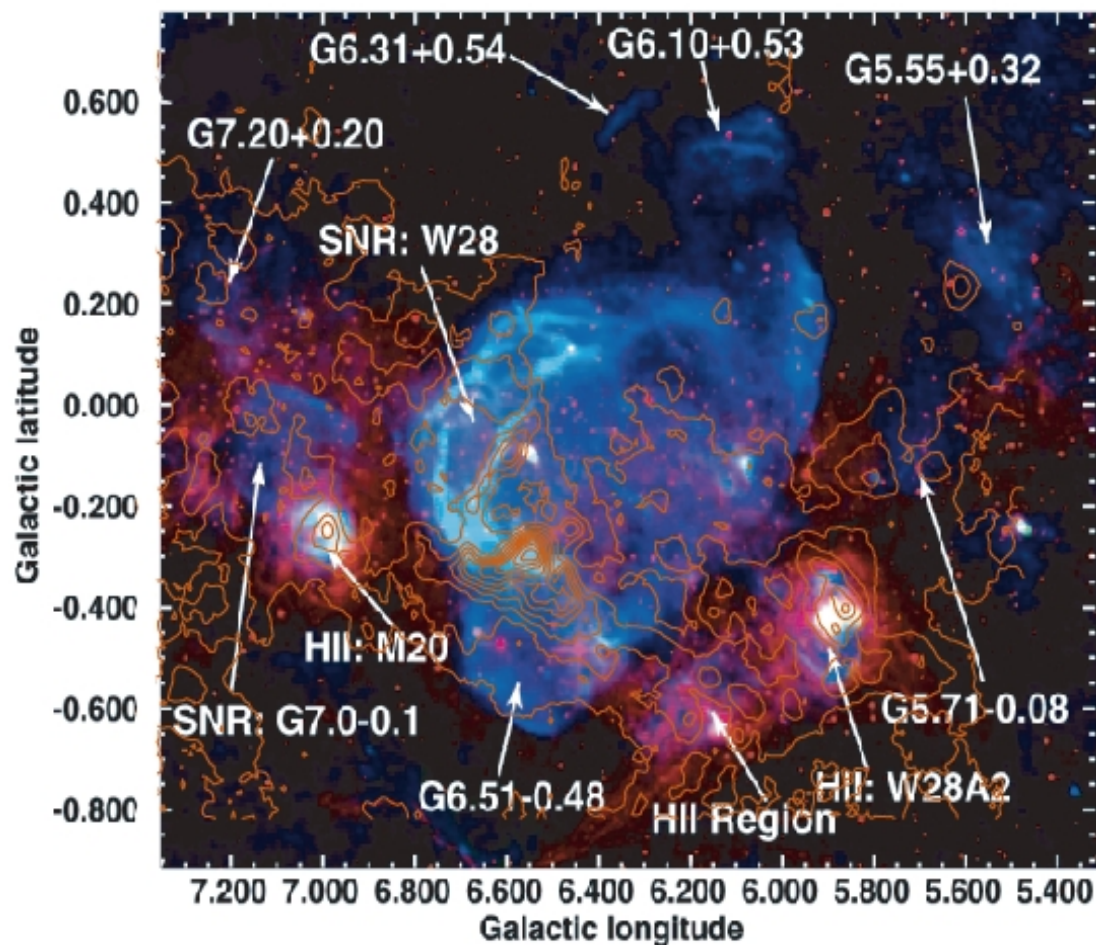


図1 W28領域の概略図。Broga et al.(2006)のfig.1に $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ の積分強度図 ($V_{\text{lsr}}=0-30\text{km/s}$) をコントアで重ねた。背景イメージはVLA90cm (青)、MSX8 μm (赤)、SGPS+VLA20cm (緑) の合成写真。

- 複合型超新星残骸
- 距離 $\sim 1.8 - 3.6$ kpc [4,5]
- 年齢：35000-150000年
- 周囲に多くのH II領域や若い散開星団をもつ
- W28northでは衝撃波で加熱された分子雲が付随
- W28southではTeV γ 線が見つかっている
- SNRと分子雲の相互作用があることがわかっている [6-8].

先行研究

- Aharonian et al. (2008) [2] -

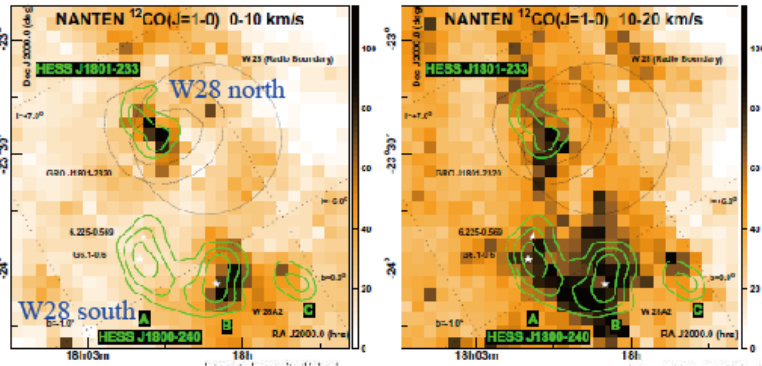


図2 NANTENの¹²CO(J=1-0)イメージに緑のコントアでH.E.S.S.のγ線(4~6σ)を重ねた。

- W28領域でTeV γ線の発見。
- NANTENのデータと比較することでγ線分布と一致する分子雲を発見。
- 宇宙線陽子起源のπ⁰崩壊によるγ線生成を示唆。



- 研究 / 観測の目的 -

これまでの研究でわからなかった、W28領域の詳細な分子雲の分布や物理状態、周囲の天体との付随をNANTEN 2望遠鏡による広域観測で明らかにする

NANTEN & NANTEN2

- NANTEN telescope -



- 場所: チリ ラスカンパナス (2,400m)
- 使用した輝線: ¹²CO(J=1-0): 230GHz
¹³CO(J=1-0): 230GHz
- 角度分解能: ~2.7分角

- NANTEN2 telescope -



- 場所: チリ アタカマ (4,800m)
- 使用した輝線: ¹²CO(J=2-1): 230GHz
¹³CO(J=2-1): 230GHz
- 角度分解能: ~90秒角

図3&4 NANTEN望遠鏡とNANTEN2望遠鏡

結果と考察

② $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ チャンネルマップ

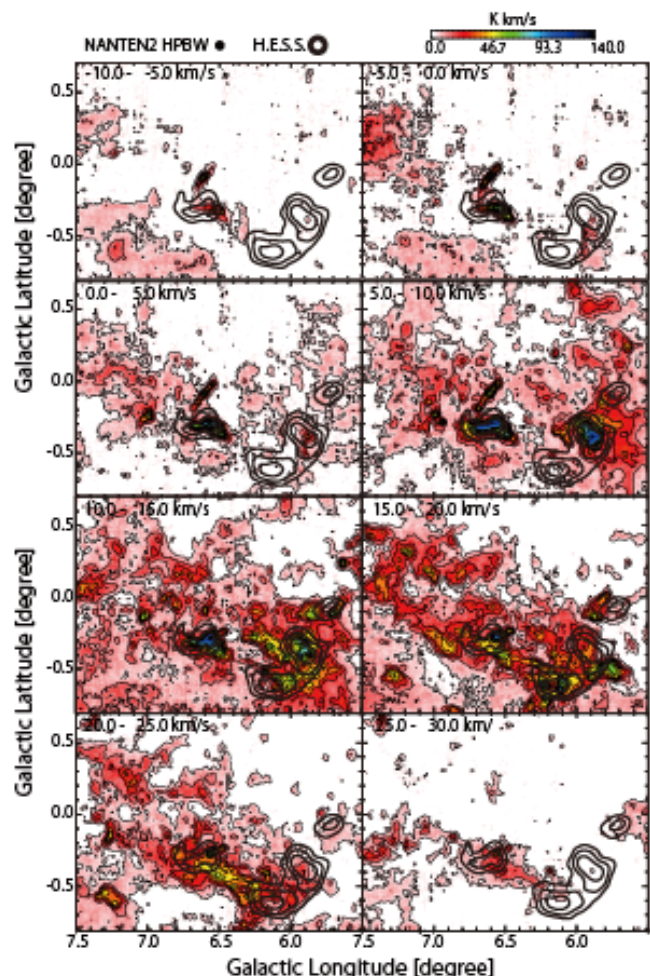


図6 W28領域の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ channelmap
 黒細コントアは10.5Kkm/sから20Kkm/sずつ引いてある。
 黒太コントアがH.E.S.S.による γ 線イメージ(3 σ , 4 σ , 5 σ)。

① $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 積分強度図

W28 $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ integrated intensity map

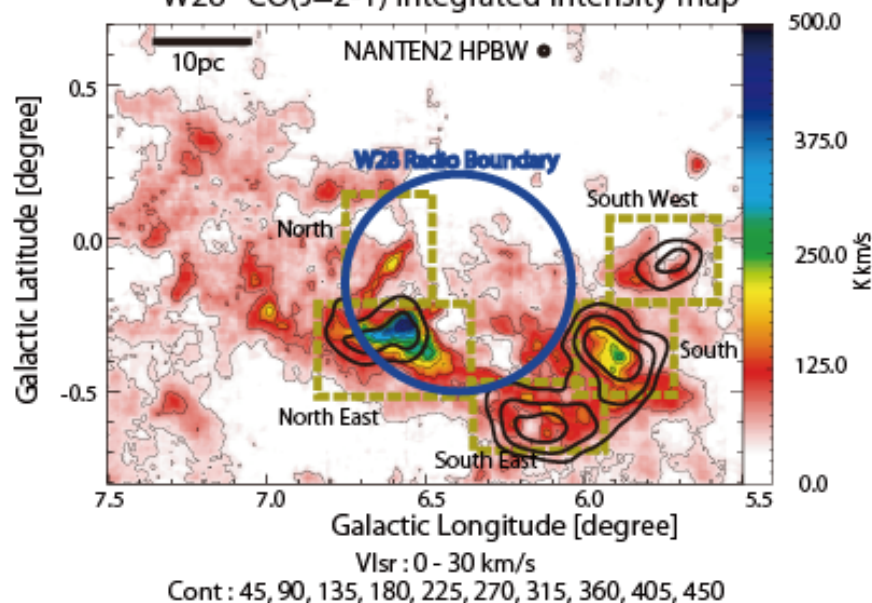


図5 W28の各領域名。
 (North, North East, South, South East, South Westの5領域に分けた)

- * -5.0~15.0km/s → North Eastで γ 線分布とよく一致する分子雲を発見。
- * 0.0~15.0km/s → Southで γ 線分布とよく一致する分子雲を発見。(W28A2)
- * 5.0~30.0km/s → **南北をつなぐ低密度分子雲**を発見。

結果と考察

③ $^{12}\text{CO}(J=2-1) / ^{12}\text{CO}(J=1-0)$

$^{12}\text{CO}(J=2-1) / ^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ratio

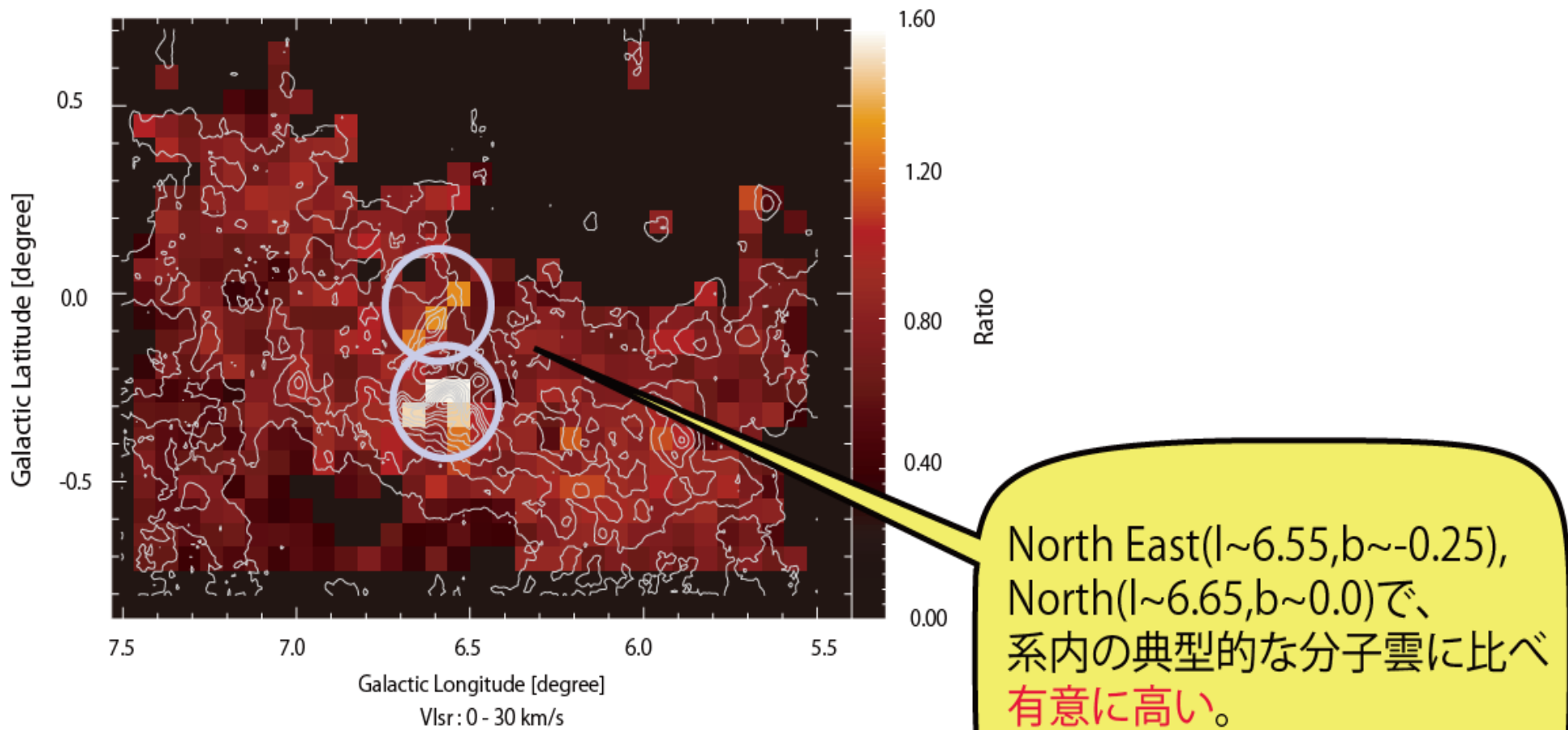
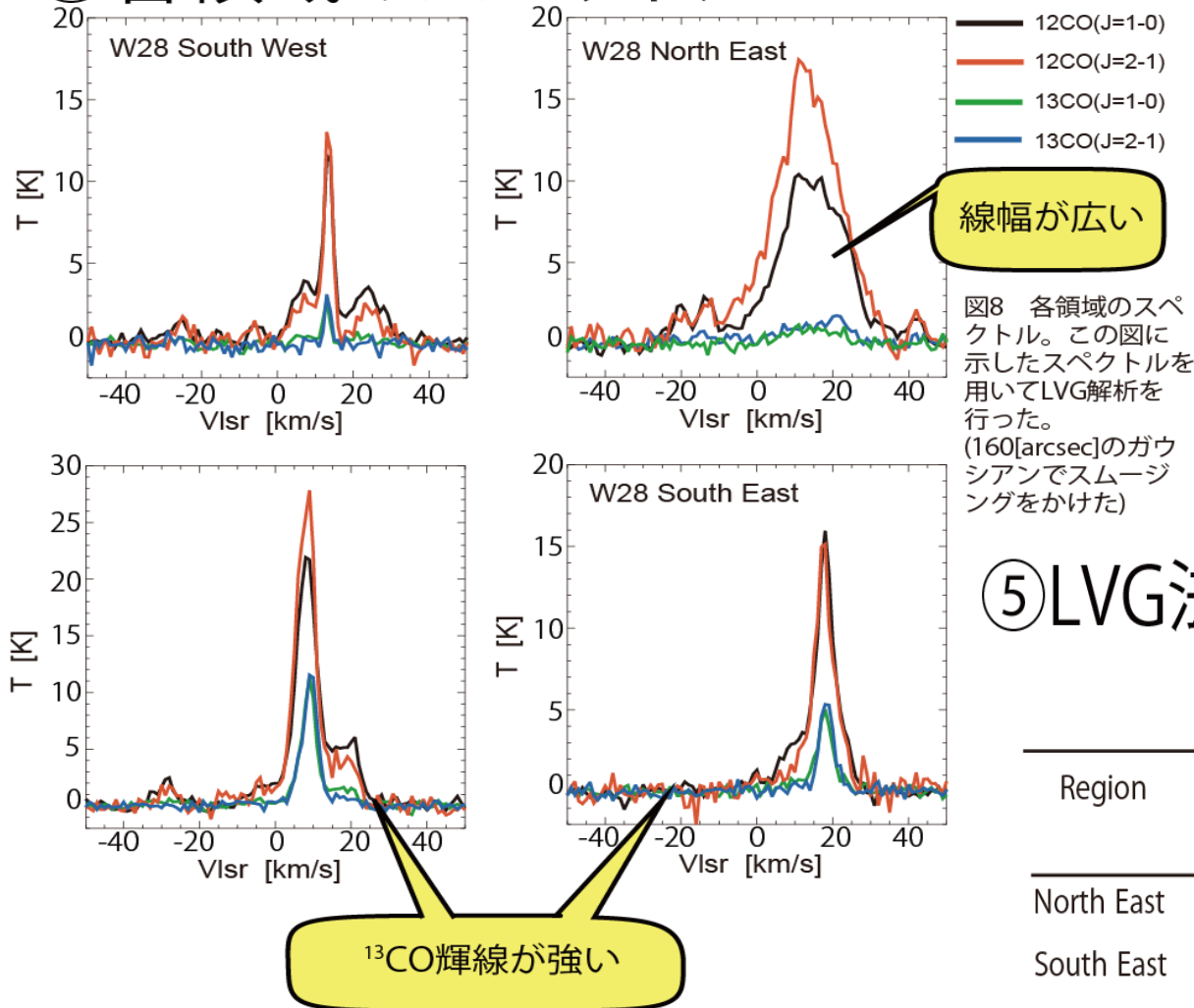


図7 W28領域 $^{12}\text{CO}(J=2-1) / ^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線強度比マップ。背景イメージが強度比マップ、白コントアが $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線の積分強度図。

結果と考察

④ 各領域のスペクトル



線幅が広い

図8 各領域のスペクトル。この図に示したスペクトルを用いてLVG解析を行った。(160[arcsec]の gaussian でスムージングをかけた)

⑤ LVG法によるパラメータ算出結果

表1 LVG 解析結果と宇宙線陽子のエネルギー

| Region | l (deg) | b (deg) | L_γ (10^{33} erg/s) | n (10^3 cm^{-3}) | T_{kin} (K) | W_p (10^{45} erg) |
|------------|--------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| North East | 6.53 | -0.27 | 1.5 | $0.6^{+0.1}_{-0.1}$ | 35 $^{+25}_{-13}$ | 11^{+2}_{-2} |
| South East | 6.20 | -0.60 | 1.5 | $3.0^{+1.0}_{-1.0}$ | 21^{+9}_{-4} | $2.3^{+0.8}_{-0.8}$ |
| South | 5.87 | -0.40 | 1.4 | $2.2^{+0.8}_{-0.6}$ | 24^{+7}_{-5} | $2.8^{+0.8}_{-1.0}$ |
| South West | 5.67 | -0.07 | 0.8 | $1.2^{+0.5}_{-0.3}$ | 35 $^{+7}_{-7}$ | $3.0^{+0.8}_{-1.3}$ |

L_γ は γ 線光度、 W_p は加速された全エネルギー。

まとめ

North East ----> 高温 (35K) ,広がった線幅,
 $^{12}\text{CO}(J=2-1) / ^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ratio 高

➡ 超新星爆発の衝撃波による圧縮・加熱。

South & South East ---> ^{13}CO 強度が強い

➡ 星団、星形成領域からの星風の影響。

South ---> γ 線分布と分子雲の一致

➡ 陽子起源のガンマ線である可能性有。

REFERENCE

1. Oishi (2010) master thesis
2. Aharonian, F. et al. (2008) A&A, 481, 401
3. Brogan, C. et al. (2006) ApJ, 639, 25
4. Goudis, C. (1976) Ap&SS, 40, 91
5. Lozinskaya, T. A. (1981) SvAL, 7, 17
6. Wootten, A. (1981) ApJ, 245, 105
7. Arikawa, Y. et al. (1999) PASJ, 51, 7
8. Reach, W. et al. (2005) ApJ, 618, 297