スペクトル進化モデルを用いた 若いパルサー星雲の研究

田中 周太 (阪大) 共同研究者:高原 文郎

S.T. & Takahara ApJ. (2010) S.T. & Takahara ApJ. (2011) S.T. & Takahara in prep.

2012, 3, 28, 高宇連第12回研究会「高エネルギー宇宙物理学の将来計画とサイエンス」@奈良女子大学

パルサー星雲

✓ 中心パルサー + ジェット&トーラス構造

パルサーからのエネルギー供給

✓ 外側の超新星残骸 + パルサー星雲の膨張

超新星残骸による閉じ込め





パルサー誕生時からの情報を保持した天体

パルサー星雲の研究

- ✓ パルサー :パルサーの回転進化 (パルサーの個性)
- ✓ 磁気圏 : 生成される電子陽電子 (電磁場構造)
- ✓ パルサー風 : σ(磁化率)問題 (磁場の散逸)
- ✓ 終端衝撃波 :加速粒子の分布 (Broken PL、高効率)

✓ パルサー星雲: パルサー星雲の個性 (年齢、大きさなど)

パルサー星雲の個性



Radio (NRAO)



X-ray (Chandra)



Gaensler & Slane 06



Aharonian+ 06

年老いた**TeV PWN** Vela X

若いnon-TeV PWN **3C58**

若いTeV PWN かに星雲

✓年齢、大きさ、中心パルサーの回転光度(L_{spin}) √ガンマ線の光度(年齢、大きさ、L_{spin}と非相関) パルサー星雲のスペクトルから調べる

パルサー星雲のスペクトル進化

e[±], B



✓ 粒子分布の進化、パルサーからのエネルギー収支を考慮。



かに星雲への適用



✓観測をよく再現、 γ線はSSCでよい。 (モデルの妥当性)

✓今、85µG(η=0.005) (粒子エネルギー優勢)

	radio[%/yr]	Opt.[%/yr]
モデル	-0.16	-0.24
観測	-0.17	-0.55

✓電波や可視光の減光率
 を説明できる。
 (進化も説明可)

Vinyaikin 07 (radio), Smith 03 (opt.)

電波、X線(+γ線)の観測がある天体に適用。





Chandra

比較的有名なパルサー星雲 SN1181で形成された? ⇔ パルサーが冷た過ぎる



S.T. & Takahara in prep.

 $B > 18\mu G$ $E_{total} < 4x10^{48} erg$ $(V_{PWN} > 780 km/s)$

膨張速度の観測の結果と比較 (770km/s: Fesen+08)

t_{age} ~ 2.5kyr, η ~ 3x10⁻³



S.T. & Takahara 11

Fermi

10²⁵



若いパルサー星雲は η = a few x 10⁻³





S.T. & Takahara in prep.

X線-y線 光度比の進化



● シンクロトロン光度の減少

● 逆コンプトン光度の微増

(プラズマの全エネルギーの 増加に対して磁場Bは減少)

(Syn.種光子が効かなければ どのPWNも同じ振るまい)

Old PWN ➡ TeV unIDを示唆

パルサーの初期周期

P, P, n, tage が与えられるとLspin(t)を決めることができる。





S.T. & Takahara in prep.

回転進化はLo と Toで決まる。 (慣性モーメントを仮定) initial spin energy Espin magnetic ener gy EB に対応している。 **Anticorrelation**? (dominated by Kes 75)

若いパルサーの初期周期>20msec

まとめ

- ✓ One-zone スペクトル進化のモデル。
 - ✓ 若いパルサー星雲(TeV, non-TeV)に適用した。
- ✓ 若いパルサー星雲は η = a few x 10⁻³ でよさそう。
 ✓ パルサー星雲はプラズマ優勢の雲である。
 ✓ ガンマ線で見えるかどうかは Etotal と UISRFに相関。
- ✓ 中心パルサーの年齢がわかり、初期周期を調べられる。



✓多波長で空間構造が観測されている。
 ✓パルサー星雲内での加速粒子の伝播、磁場分布がわかる。

パルサー星雲

✓ Jet – torus 構造
パルサーからのエネルギー供給

- ✓ 膨張速度 VPWN << c</p>
 SNRによる閉じ込め
- ✓ 非熱的スペクトル (syn. & IC)
 磁化した e+- plasmaで構成
- ✓ Flat radio & steep X-ray スペクトル
 折れ曲がった非熱的粒子の分布
 syn. cooling breakでは説明不可









Atoyan & Aharonian 96

パルサー星雲内の粒子数

パルサー星雲に注入された粒子数を数える。

典型的な`p1' と`p2'は、 (1 < p1 < 2 < p2 < 3) $\begin{cases} \dot{E}_{e^{\pm}} = \int Q_{inj} \gamma mc^{2} d\gamma \approx \dot{N}_{e^{\pm}} \gamma_{b} mc^{2} \\ \dot{N}_{e^{\pm}} = \int Q_{inj} d\gamma \approx \gamma_{\min} Q_{inj} (\gamma_{\min}) \end{cases}$ Broken power-law

Particle dominated pulsar wind



For Crab, Kes 75, 3C58 & B0540-69.3, Γ_w « γ_b & κ »10⁴.

For G0.9+0.1 & G292.0+1.8, safely Γ_w ~ γ_b & κ ~ 10⁴. (because of single power-law injection)

Broken Power-law Injection

スペクトルを説明するためにはbroken power-lawが必要。 (加速機構は不明)

Power-law index of low energy component 1.0 < p1 < 1.7 気になるのはlow energy componentの存在



Lower limit of n & Upper limit of tage

$$P_{IC} = \frac{4}{3} \sigma_T c \gamma_c^2 U_{ph} N_{e^{\pm}}(\gamma_c) \propto U_{ph} \cdot (1-\eta) E_{total}(t_{age}) / \gamma_b$$

For (1-η)~1, we get upper limit of E_{total}. Because Etotal is increasing function of tage, we also get upper limit of t_{age}.

$$P_{syn}/P_{IC} = U_B/U_{ph} \propto \eta E_{total}(t_{age})U_{ph}$$

For given upper limit of Etotal, we get lower limit of η.

Spectrum of non-TeV PWNe





Time Dependent & non-Constant Velocity Expansion

$$\frac{\partial}{\partial t}G(\gamma,t) - \alpha \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{\gamma}{t}G(\gamma,t)\right) = q_0(t/t_1)^{-\beta} \delta(\gamma-\gamma_1)\Theta(t-t_1)$$

consider the particles suffered from adiabatic cooling a: accelerated (a > 1) & decelerated (a < 1) expansion β : time dependence of injection rate

$$N(\gamma,t) = \frac{q_0 t}{\alpha \gamma_1} \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_1}\right)^{\frac{1-\beta}{\alpha}-1} \left(\frac{t}{t_1}\right)^{-\beta} \Theta(\gamma_1 - \gamma) \Theta\left(\gamma - \left(\frac{t_1}{t}\right)^{\alpha} \gamma_1\right)$$
$$N(\gamma,t) \propto \gamma^{\frac{1-\beta}{\alpha}-1}$$

Characteristic Age & True Age

TeV PWNe Crab G21.5-0.9 G54.1+0.3 G0.9+0.1 **Kes75** 1.2kyr 4.9kyr 2.7kyr 0.7kyr 5.3kyr Тс **0.95kyr** 1.0kyr 0.7kyr 1.7kyr 2kyr tage

non-TeV PWNe						
	3C5 8	G310.6-1.6	B0540-69.3	G292.0+1.8	G11.2-0.3	
Тс	5.4kyr	13kyr	1.7kyr	2.9kyr	23kyr	
tage	2.5kyr	0.6kyr	0.7kyr	2.7kyr	2.0kyr	

Tc & tage do not need to be much.

$$\tau_{\rm c} = \frac{n-1}{2} (\tau_0 + t_{\rm age})$$