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

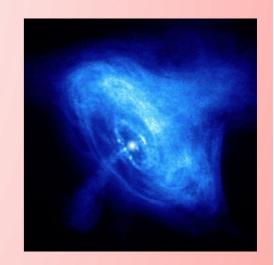
パルサー星雲

✓ 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



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)

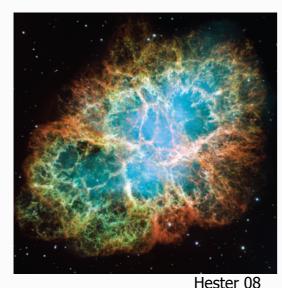
✓ 磁気圏 : 生成される電子陽電子 (電磁場構造)

✓ 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)

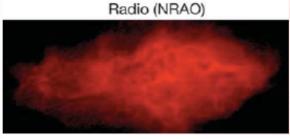
✓ パルサー星雲: パルサー星雲の個性 (年齢、大きさなど)

パルサー星雲の個性

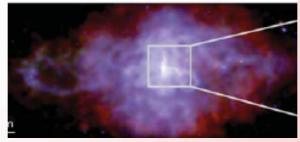


若いTeV PWN

右いTeV PWI かに星雲

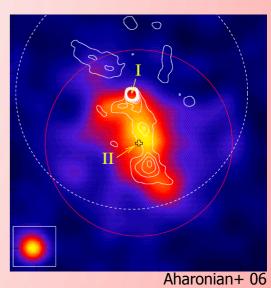


X-ray (Chandra)



Gaensler & Slane 06

若いnon-TeV PWN 3C58



年老いたTeV PWN

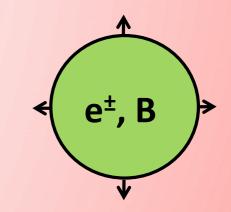
Vela X

- ✓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

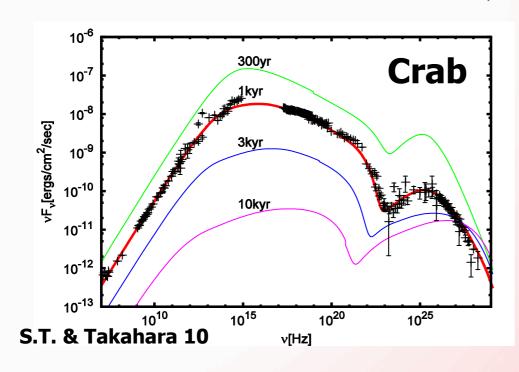
✓ 等速膨張するパルサー星雲スペクトルを synchrotron + IC(SSC + ISRF)で説明する。



CMB, dust IR & starlight

✓ 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)

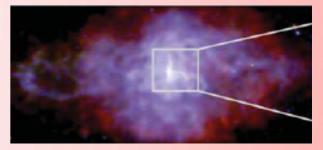
	radio[%/yr]	Opt.[%/yr]
モデル	-0.16	-0.24
観測	-0.17	-0.55

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

✓電波や可視光の減光率 を説明できる。(進化も説明可)

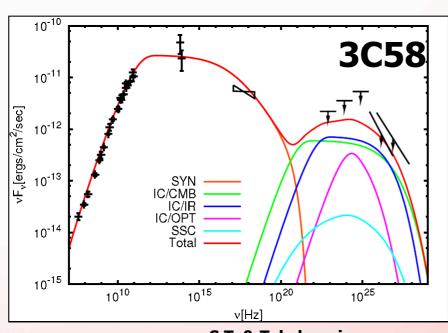
電波、X線(+γ線)の観測がある天体に適用。





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)

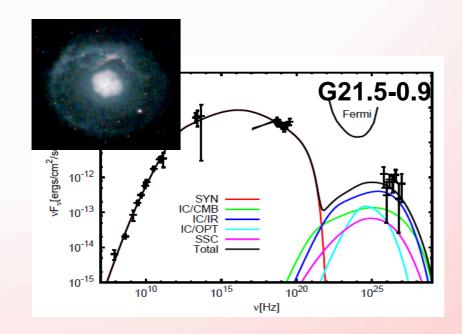
 $t_{age} \sim 2.5 kyr, \eta \sim 3 \times 10^{-3}$

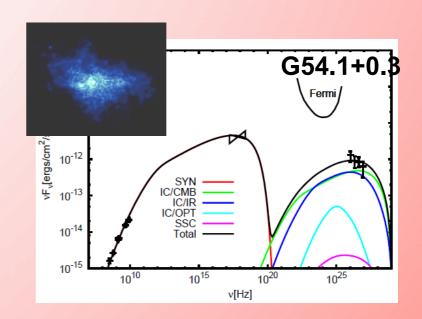
その他の若いパルサー星雲

Peculiar object

	Crab	G21.5-0.9	G54.1+0.3	G0.9+0.1	Kes75
η	5x10 ⁻³	8x10 ⁻³	2x10 ⁻³	3x10 ⁻³	0.05x10 ⁻³
tage	0.95kyr	1.0kyr	1.7kyr	2kyr	0.7kyr

S.T. & Takahara 11





若いパルサー星雲は $\eta = a \text{ few x } 10^{-3}$

パルサー星雲からのガンマ線

ガンマ線で見えるものと見えないものは何が違うのか。

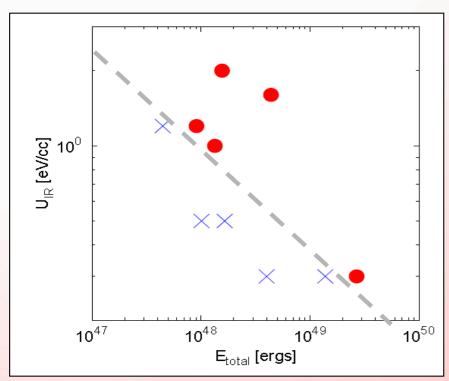
TeV PWN: Crab, G21.5-0.9,

• G54.1+0.9, Kes75,

G0.9 + 0.1

non-TeV: 3C58, G310.6-1.6 × G292.0+1.8, G11.2-0.3 SNR B0540-69.3

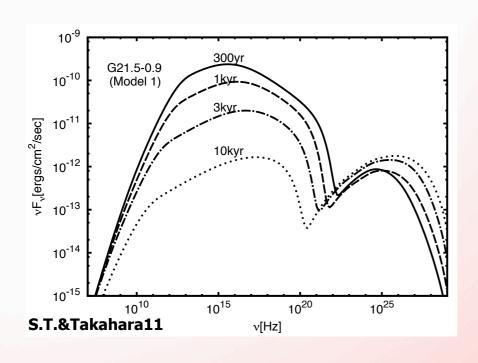
(η~ a few x 10⁻³ とした)



S.T. & Takahara in prep.

パルサーから供給されたエネルギーと 予想される星間光子場の密度 に相関している。

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。

$$L_{spin}(t) = L_0(1 + t/\tau_0)^{-\frac{n+1}{n-1}}$$



回転進化はLo と Toで決まる。

(慣性モーメントを仮定)

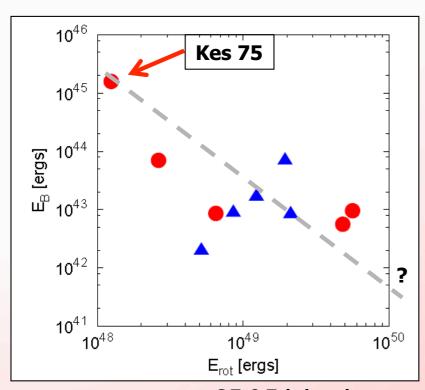


initial spin energy Espin

2

magnetic ener gy EB に対応している。

Anticorrelation?
(dominated by Kes 75)



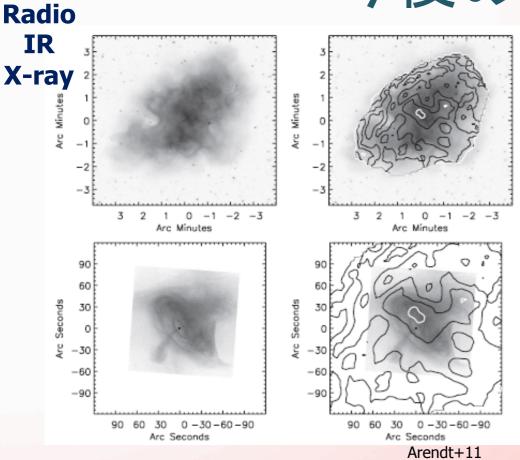
S.T. & Takahara in prep.

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 $\eta = a$ 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。

Crab 今後の研究

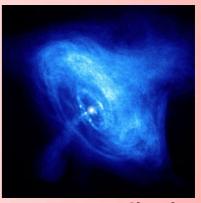




- ✓多波長で空間構造が観測されている。
- ✓パルサー星雲内での加速粒子の伝播、磁場分布がわかる。

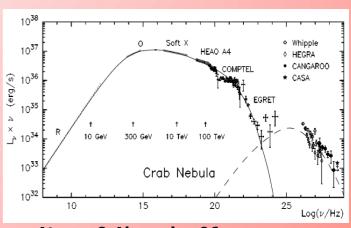
パルサー星雲

- ✓ Jet torus 構造
 - → パルサーからのエネルギー供給
- ✓ 膨張速度 **V**PWN << C
 - ➡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



Chandra





Atoyan & Aharonian 96

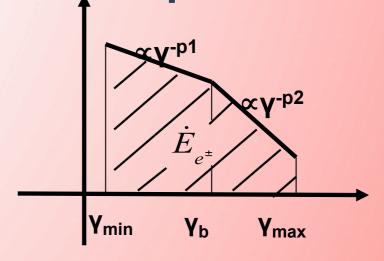
パルサー星雲内の粒子数

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、

$$\begin{cases} \dot{E}_{e^{\pm}} = \int Q_{inj} \gamma m c^{2} d\gamma \approx \dot{N}_{e^{\pm}} \gamma_{b} m c^{2} \\ \dot{N}_{e^{\pm}} = \int Q_{inj} d\gamma \approx \gamma_{\min} Q_{inj} (\gamma_{\min}) \end{cases}$$

Broken power-law



Particle dominated pulsar wind

$$L_{spin} \approx \Gamma_{wind} \dot{N}_{e^{\pm}} m_e c^2$$

For Crab, Kes 75, 3C58 & B0540-69.3, $\Gamma_W \ll \gamma_b$ & $\kappa \gg 10^4$.

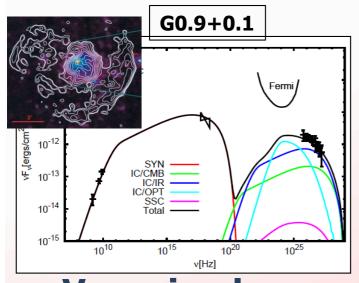
For G0.9+0.1 & G292.0+1.8, safely $\Gamma_W \sim \gamma_b$ & $\kappa \sim 10^4$.

(because of single power-law injection)

Broken Power-law Injection

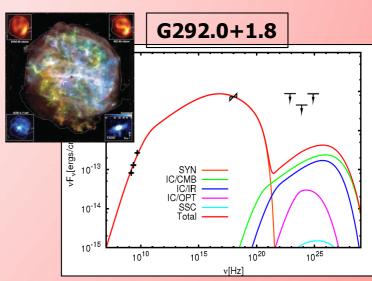
スペクトルを説明するためにはbroken power-lawが必要。 (加速機構は不明)

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



Two exception

断熱冷却が電波の スペクトルを作る



Very simple case

$$\frac{\partial}{\partial t}N - \frac{\partial}{\partial \gamma}\frac{\gamma}{t}N = \delta(\gamma - \gamma_0) \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \gamma^{-1}$$



$$N \propto \gamma^{-1}$$

Lower limit of η & 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 Etotal.

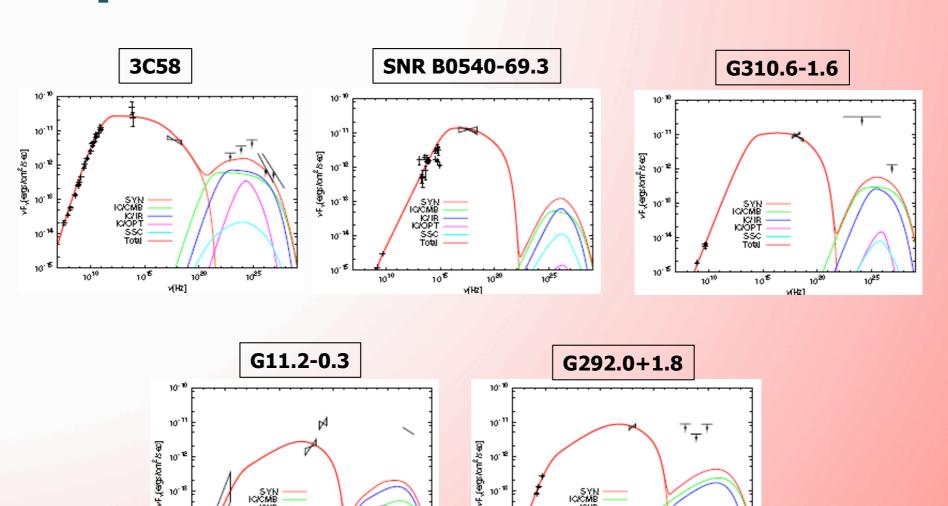
Because Etotal is increasing function of tage,

we also get upper limit of tage.

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

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

Spectrum of non-TeV PWNe



10.14

10¹⁰

10¹⁵

10²⁰ v(Hz]

1025

1020

SYN IC/CMB IC/IR IC/OPT SSC

105

10⁻¹⁴

1025

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 α : accelerated ($\alpha > 1$) & decelerated ($\alpha < 1$) 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
Тс	1.2kyr	4.9kyr	2.7kyr	5.3kyr	0.7kyr
t age	0.95kyr	1.0kyr	1.7kyr	2kyr	0.7kyr

non-TeV PWNe

	3C58	G310.6-1.6	B0540-69.3	G292.0+1.8	G11.2-0.3
Tc	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.

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