PWN と CTA

森浩二（宮崎大学）

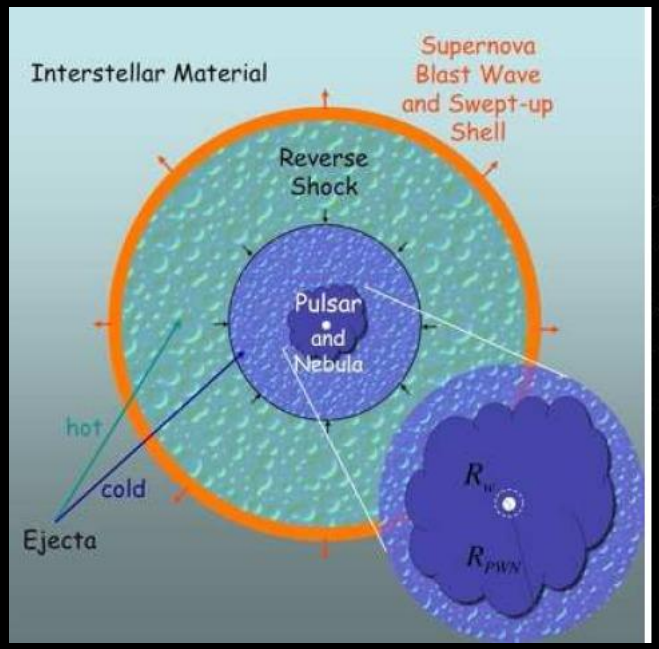
2010-09-29,30

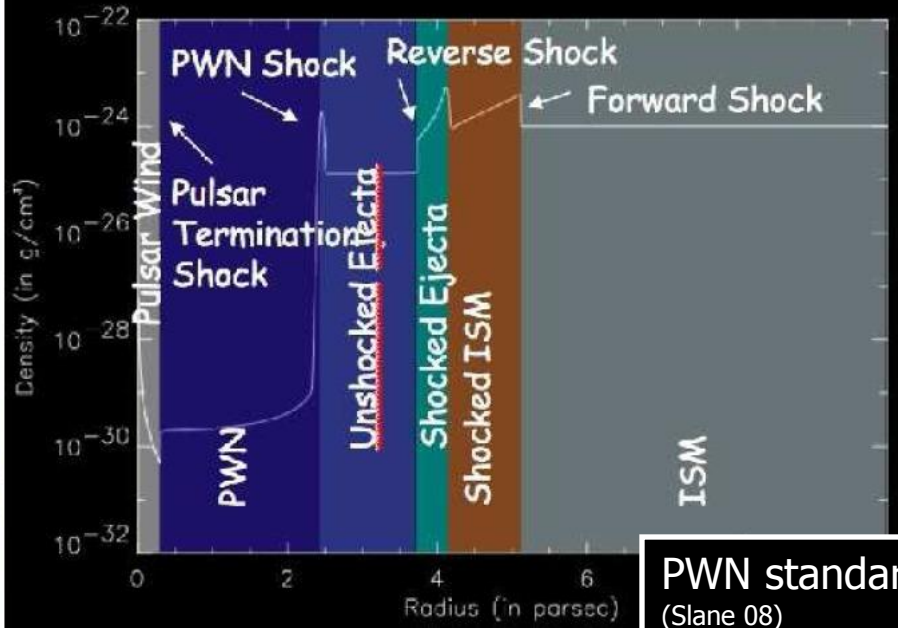
マルチメッセンジャー宇宙物理学とCTA

パルサー星雲とは

- 理想的な RMHD 実験場（物理）
  - 単純な系であることの強み
  - γ は 10^6 （GRBより上ですよ）
- 全ての波長で観測可能（天文）
  - ２１桁におよぶ壮大な非熱的放射
  - 多くの観測で「初めて」を可能に（CTAでも）
- 電子宇宙線源（宇宙物理）
  - 最近にぎわう陽電子宇宙線超過
  - 皮（SNR）と中身（PWN）の時間発展の考慮が重要かも

パルサー星雲の標準モデル

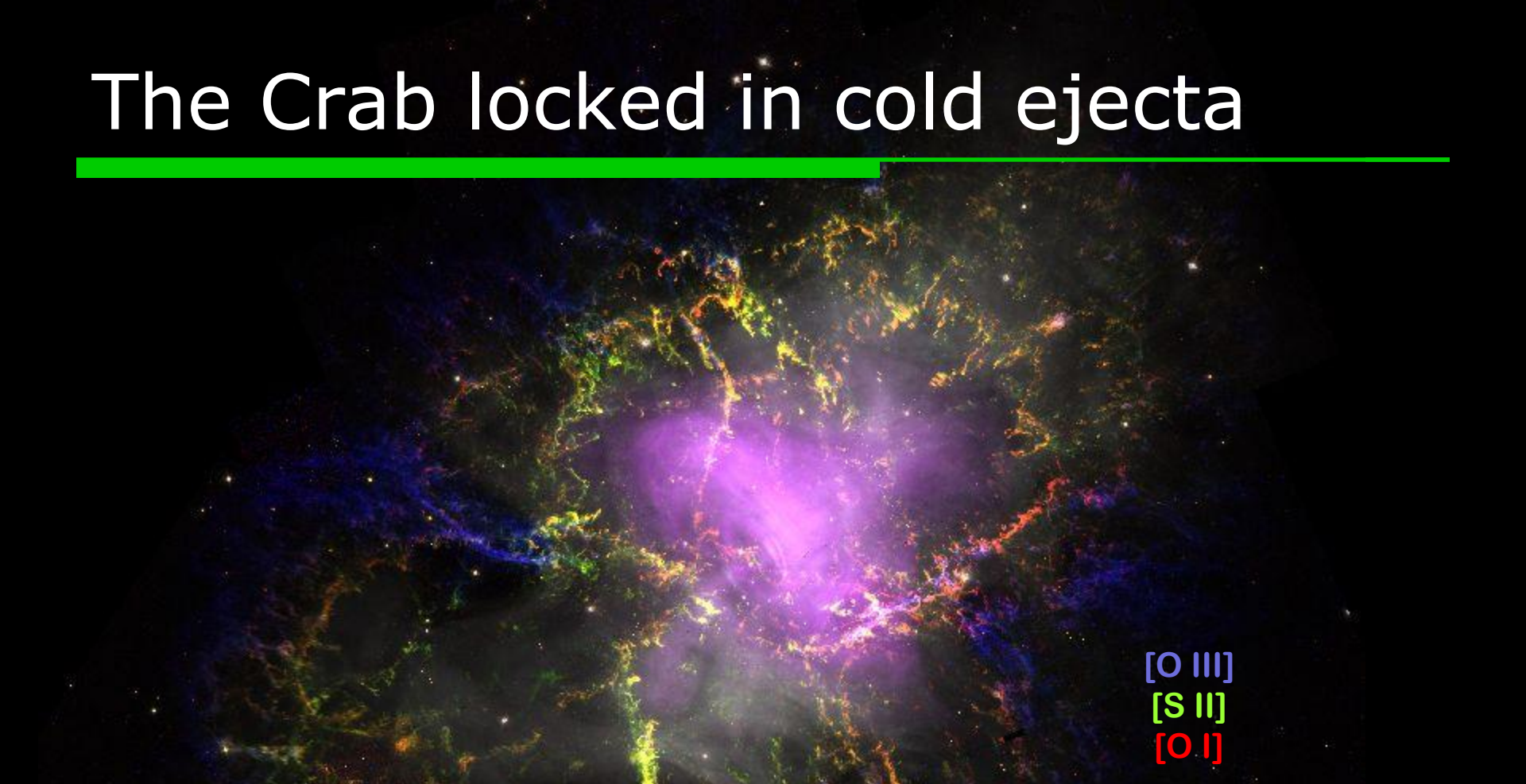




PWN standard view
(Slane 08)

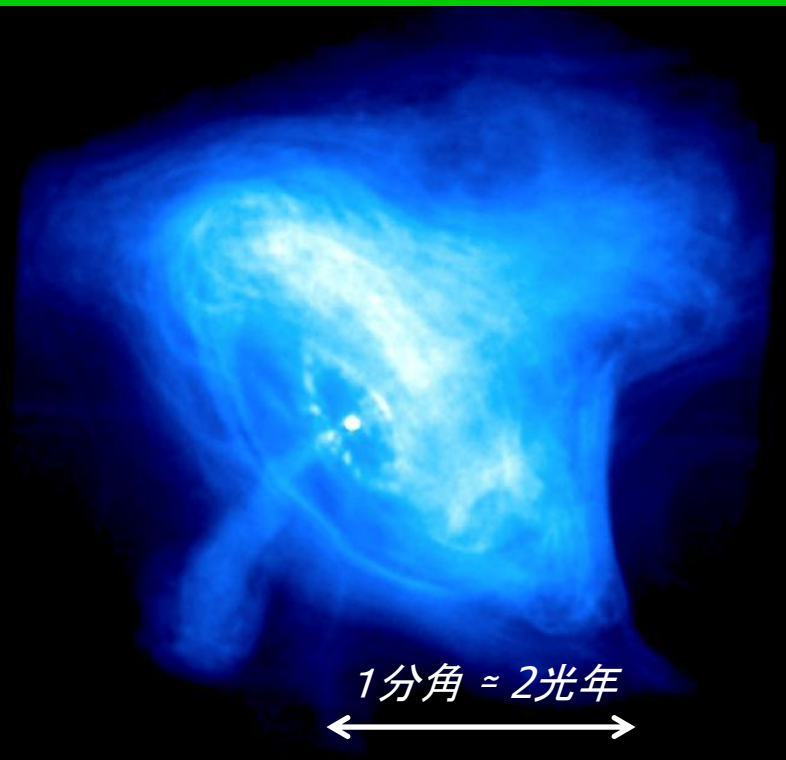
- Cold ejecta により閉じ込められた系
  - 閉じ込められなければ衝撃波がたたず、見えない
  - 外部（SNR）の影響を強く受ける

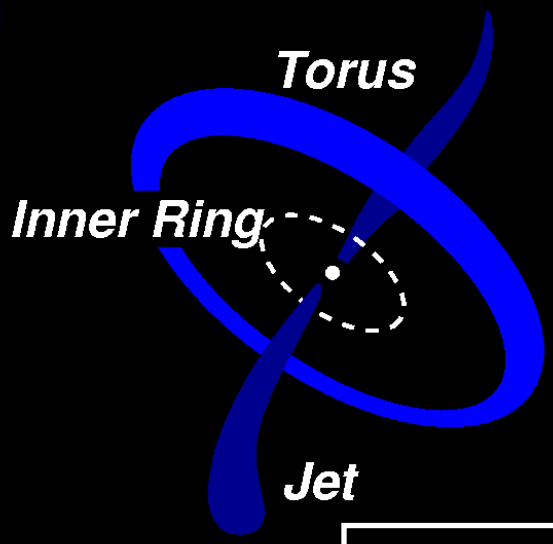
The Crab locked in cold ejecta



- 軽くて速いパルサー風と遅くて重い cold ejecta による RT fingers
  - Slow ejecta（~2000 km/s）& no X-ray shock detected
  - ejecta の組成から <10Mo の SN によるものらしい

パルサー星雲の構造

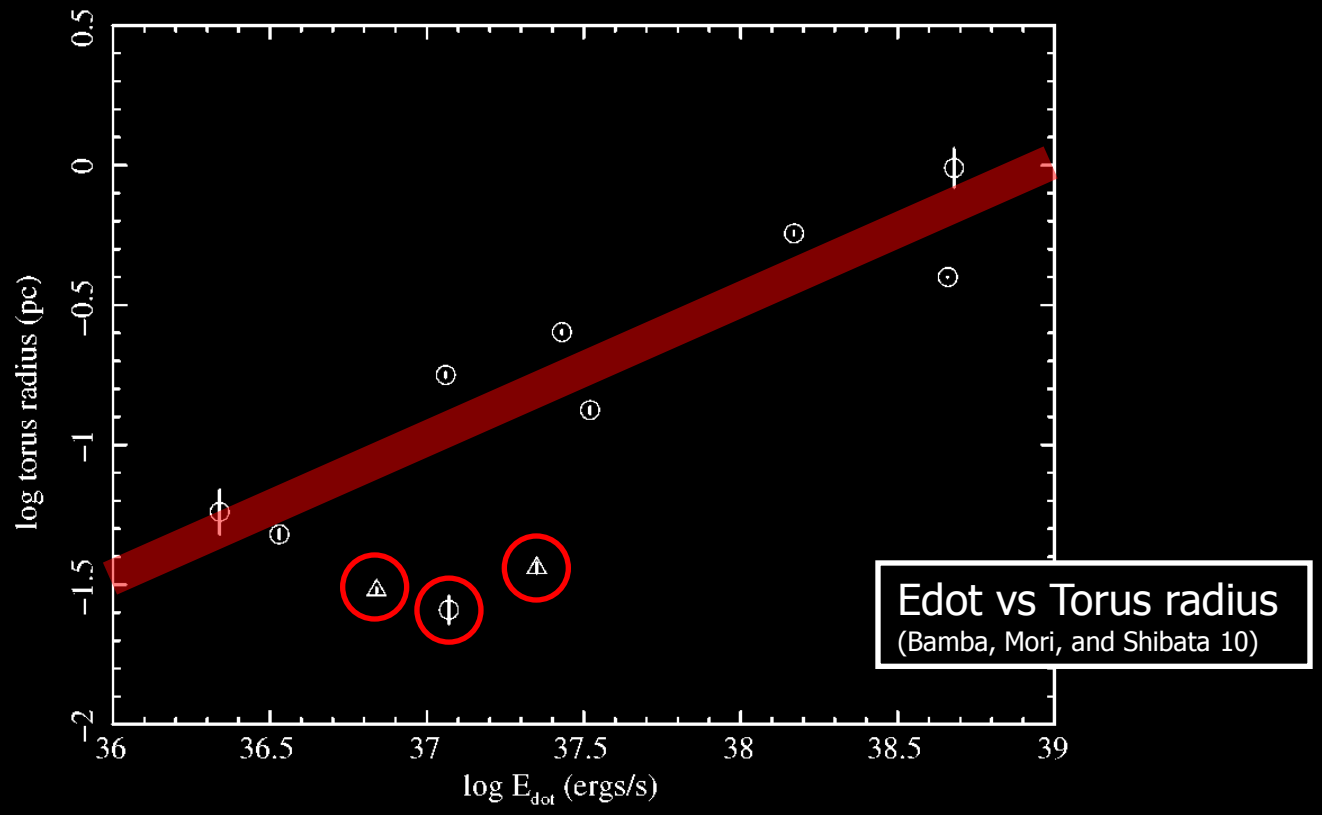




Crab Nebula
(Mori et al. 04)

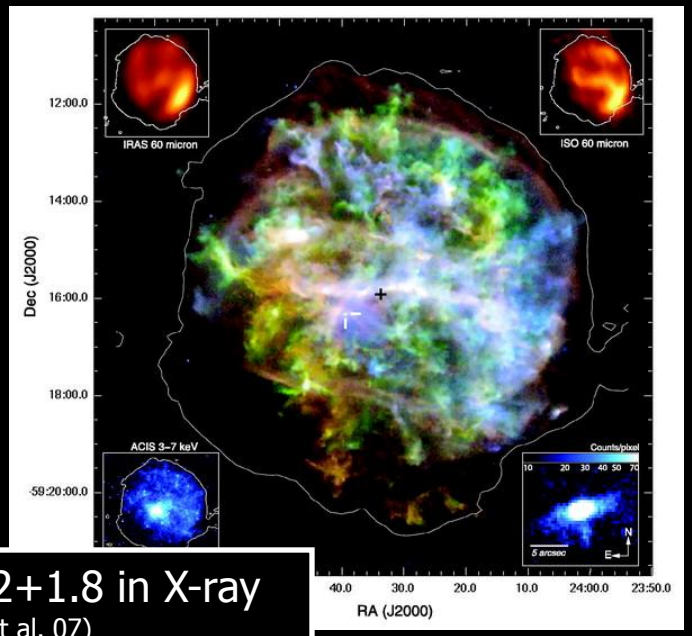
- 赤道面の構造
  - 「見えない un-shocked pulsar wind」と「見える shocked pulsar wind」の境界が termination shock = inner ring
  - その外にトーラス

パルサーからのエネルギー注入率とサイズ

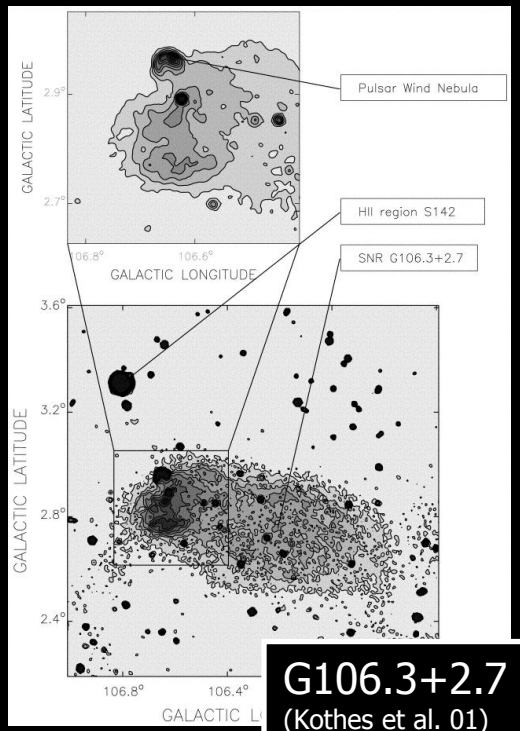


- E_{dot} に比例して、トーラス半径が大
  - $r \propto E_{dot}^{1/2}$ によくのる
  - 傾向から外れているのは Vela, PSRJ1124, PSRJ2229

Thermal SNR を伴う PWNe



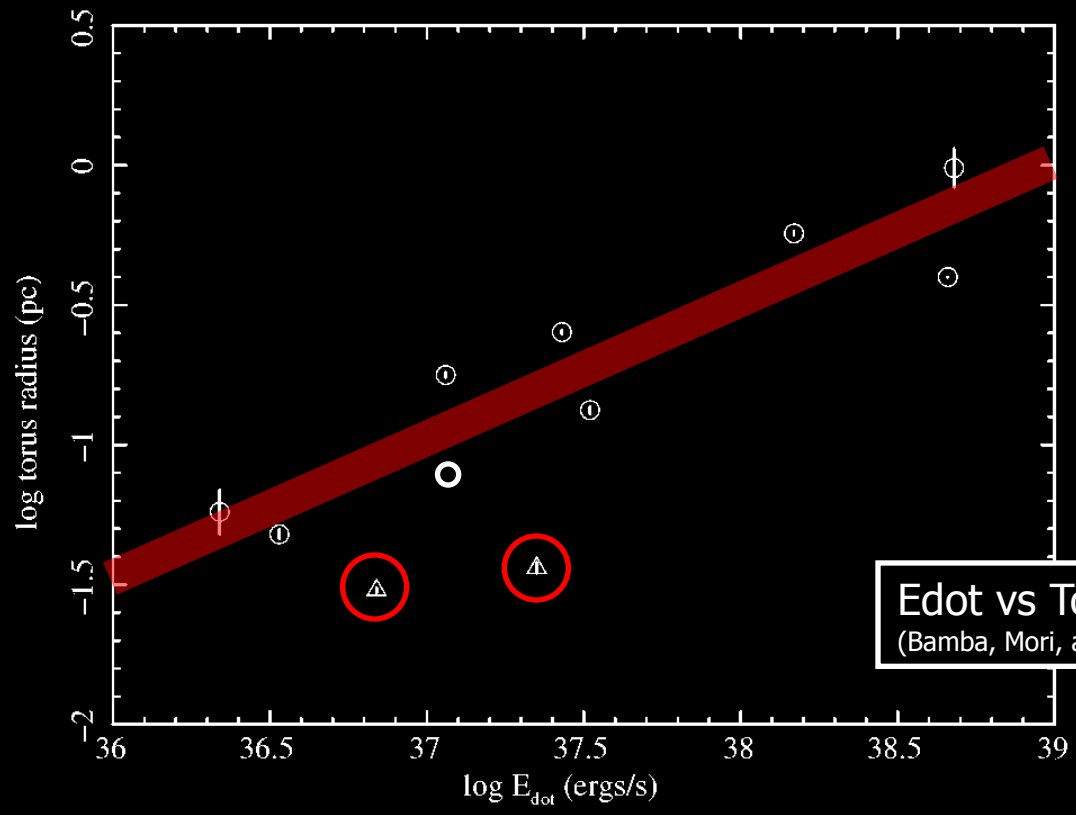
G292+1.8 in X-ray
(Park et al. 07)



G106.3+2.7 in radio
(Kothes et al. 01)

- PSRJ1124-5916 in G292+1.8
  - 深観測によりよりサイズが大きいことが判明
  - 圧力から考えて SNR との interaction はまだないようだ
- PSRJ2229+6114 in G106.3+2.7
  - PWN と SNR の相互作用の兆候

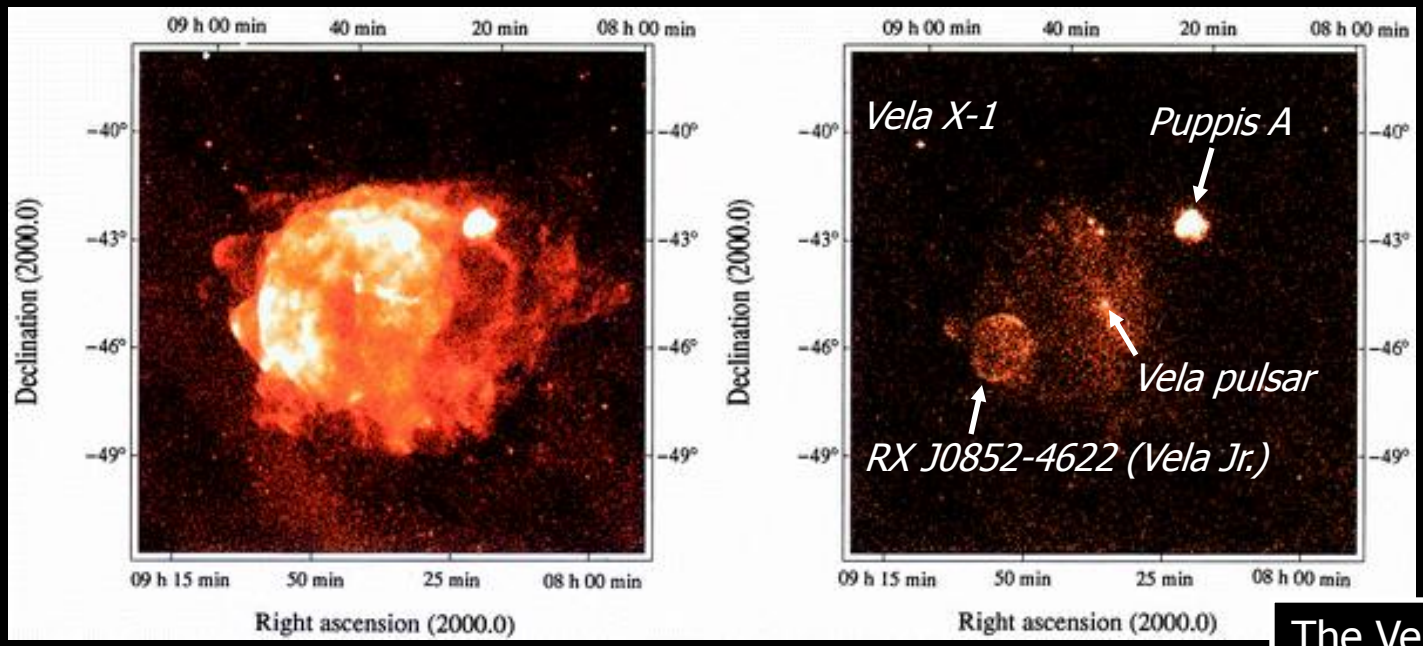
パルサーからのエネルギー注入率とサイズ



Edot vs Torus radius
(Bamba, Mori, and Shibata 10)

- E_{dot} に比例して、トーラス半径が大
  - $r \propto E_{\mathrm{dot}}^{1/2}$ によくのる
  - 傾向から外れているのは Vela, ~~PSRJ1124~~, PSRJ2229

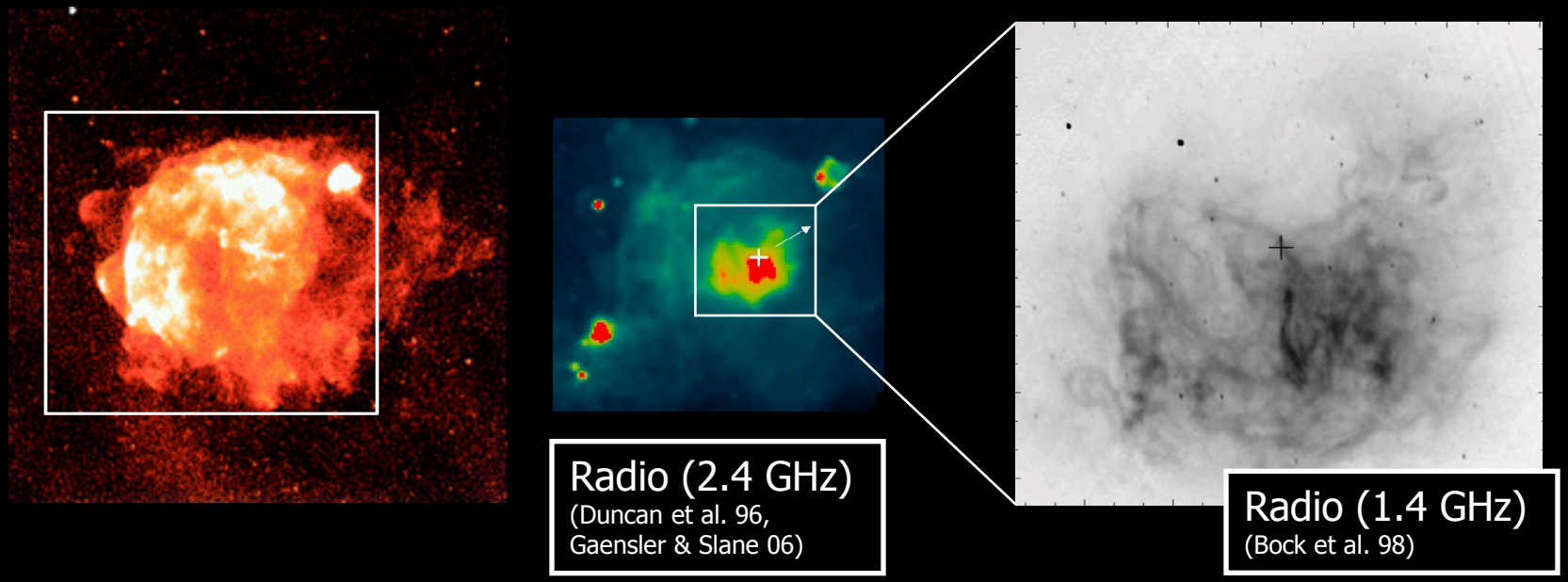
Vela SNR and PWN



The Vela SNR
(Aschenbach 1998)

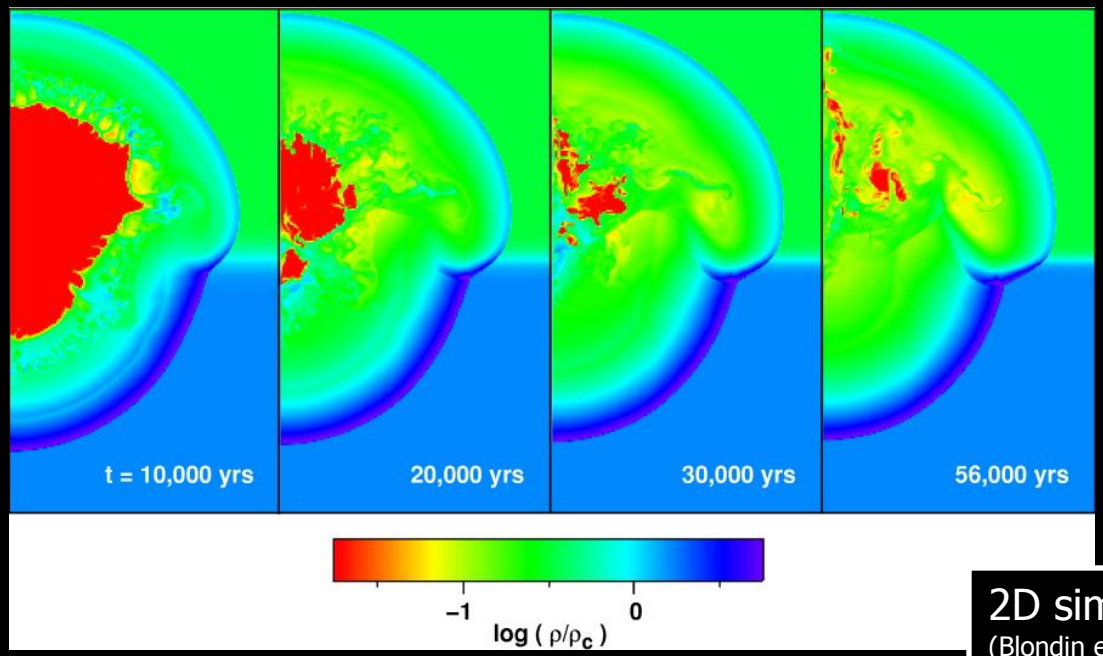
- A young pulsar in an old SNR
  - 既知の PWNe のうち、最も近傍に位置する (~290 pc)
  - “年老いた” SNR であり、逆行衝撃波が中心付近に戻ってくるころ

電波源 Vela X = Vela PWN



- 中心にある最も明るい電波源が Vela X
  - 古典的にはこれが Vela PWN の定義
- パルサーに対して南に非対称な広がり
  - RT finger っぽいものが見える

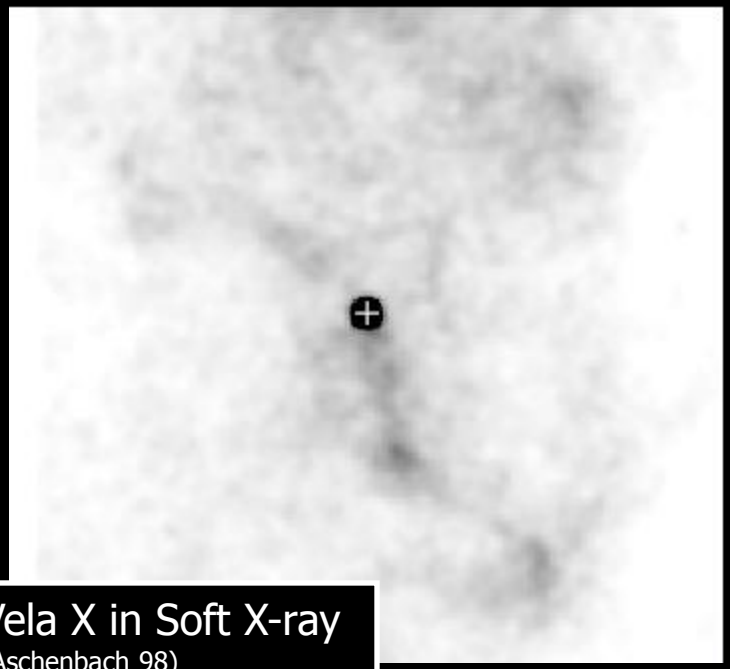
2流体シミュレーション in 密度勾配



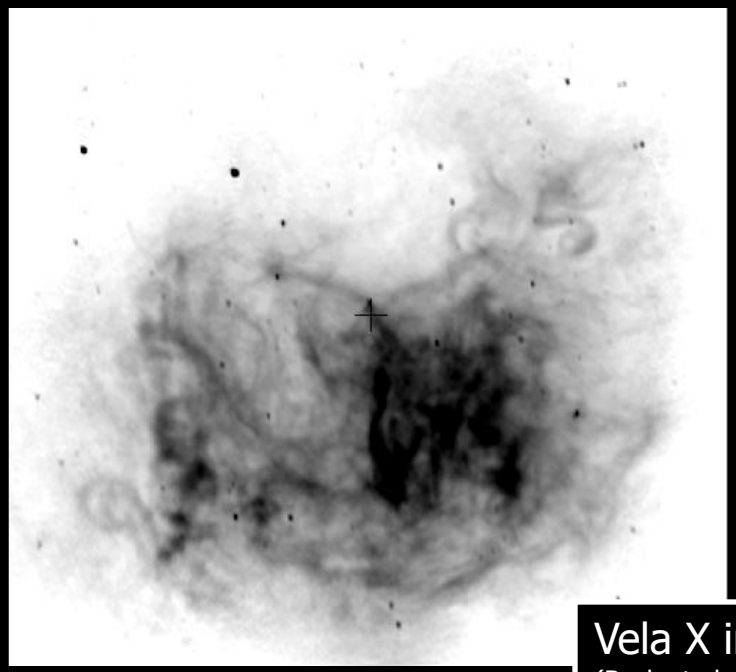
2D simulation
(Blondin et al. 01)

- 外部の密度勾配が逆行衝撃波の異方性を生じさせ、それがPWNをパルサー（爆発中心）に対してオフセットさせるという結果

The Vela crushed by hot ejecta



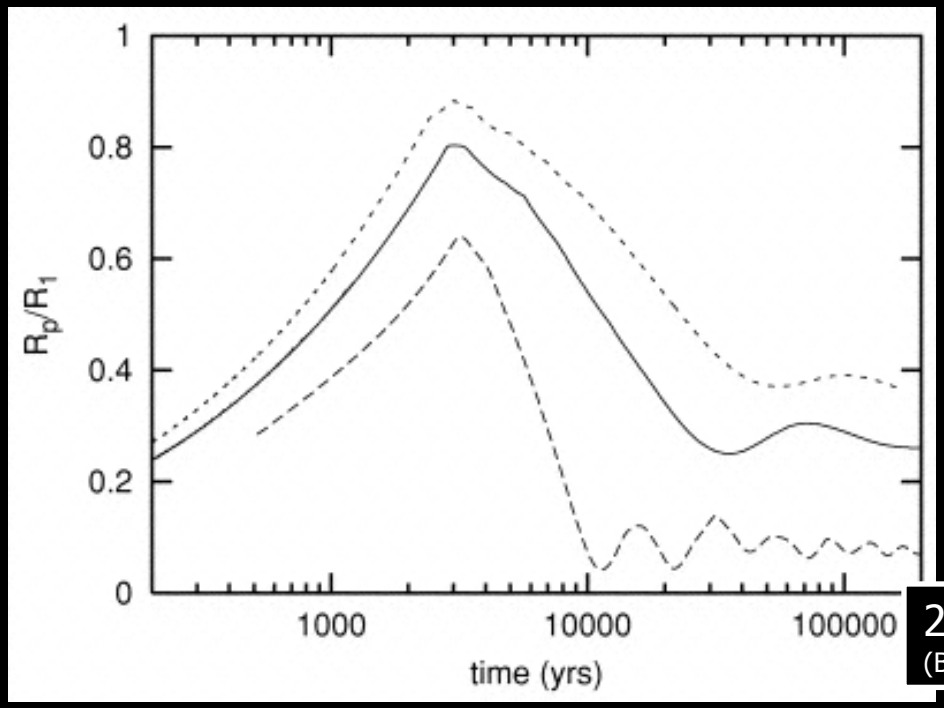
Vela X in Soft X-ray
(Aschenbach 98)



Vela X in radio
(Bock et al. 98)

- ROSAT 軟X線画像と VLA 電波画像の比較
  - Almost anti-correlation in intensity
  - reverse-shock heated ejecta（軟X線）がパルサー星雲（電波）を包み込み、形状を歪めている

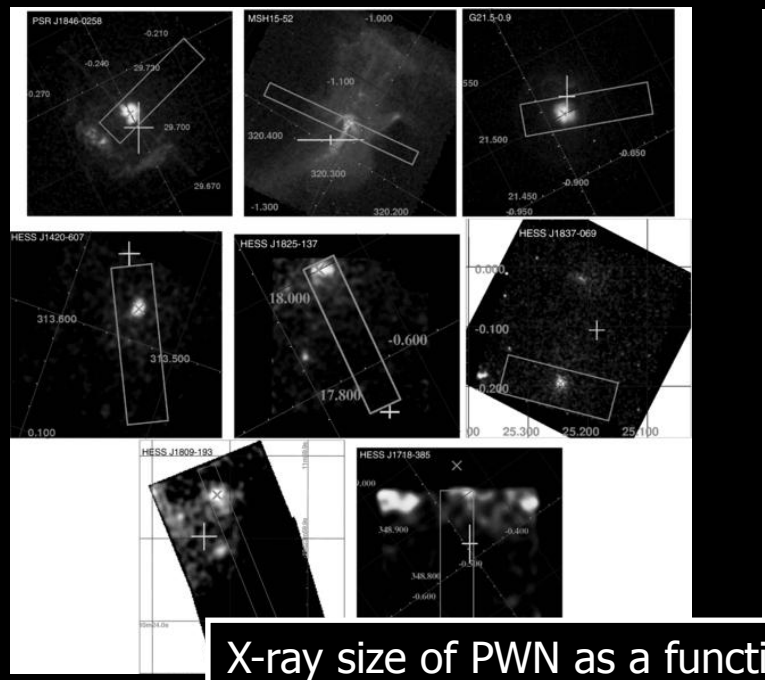
大きくなって小さくなる

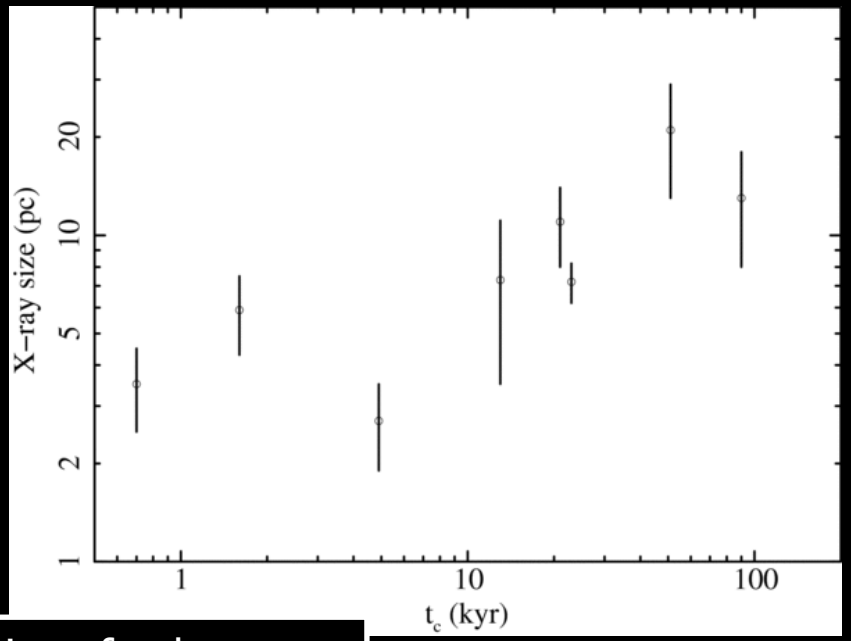


2D simulation
(Blondin et al. 01)

- パルサー星雲のサイズと時間
  - サイズは順行衝撃波半径で規格化されたもの
  - PWN は最初徐々に大きくなるが、逆行衝撃波がもどってくるところで押しつぶされる

大きくなって小さくなる、ってホント？

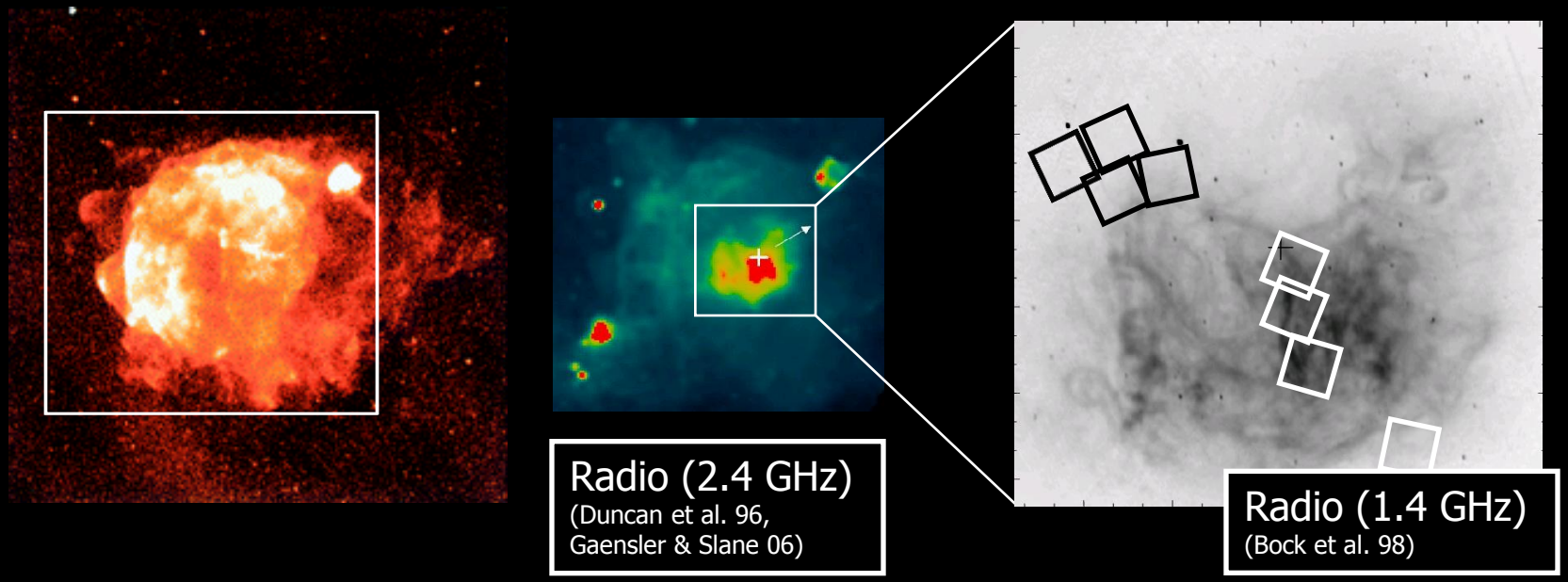




X-ray size of PWN as a function of pulsar age
(Bamba et al. 10)

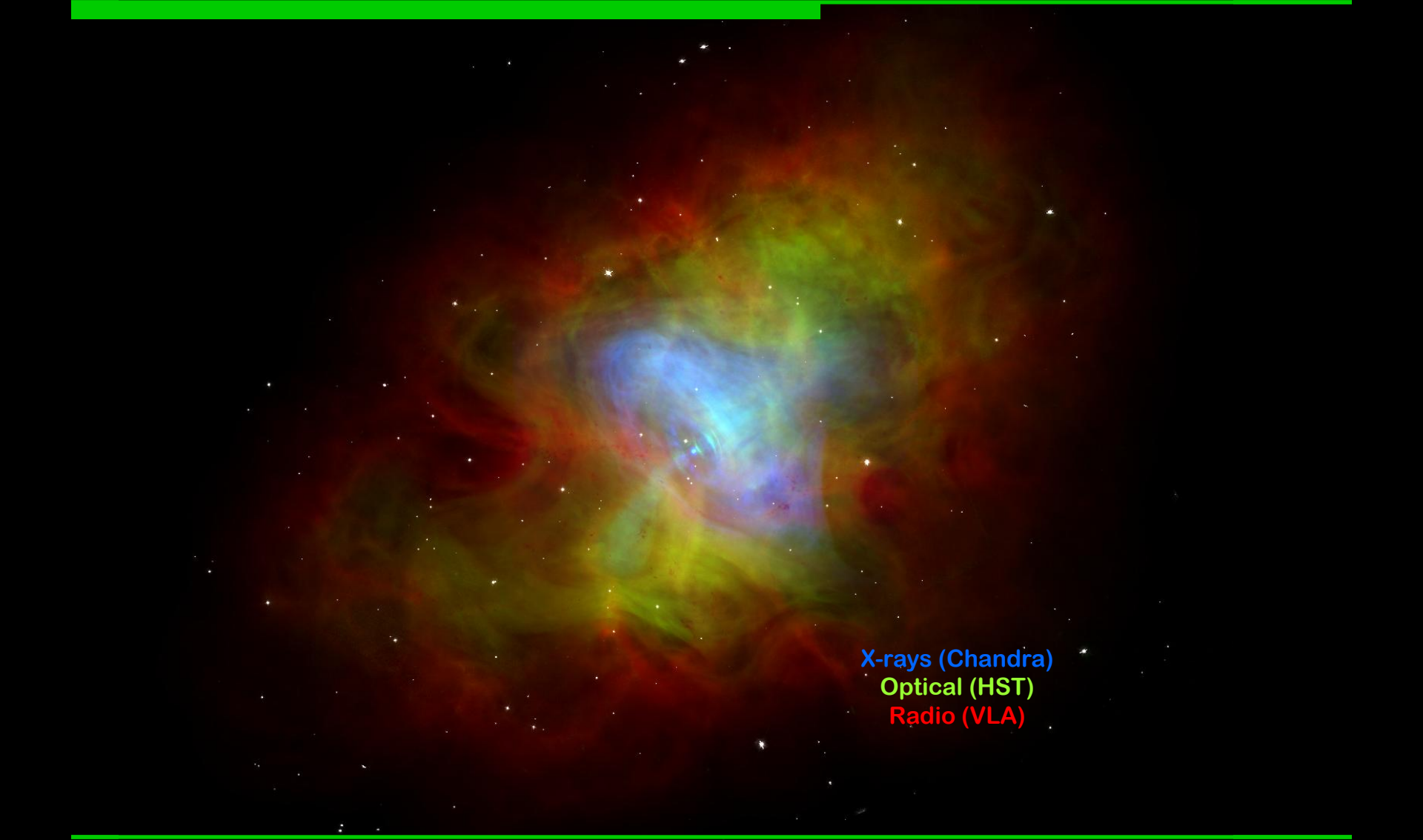
- パルサー特性年齢と X-ray PWN のサイズの関係
  - 大きくなって小さくなる、ってことはないらしい
  - 逆行衝撃波の影響が無い？

すざくで Vela X の外を見る

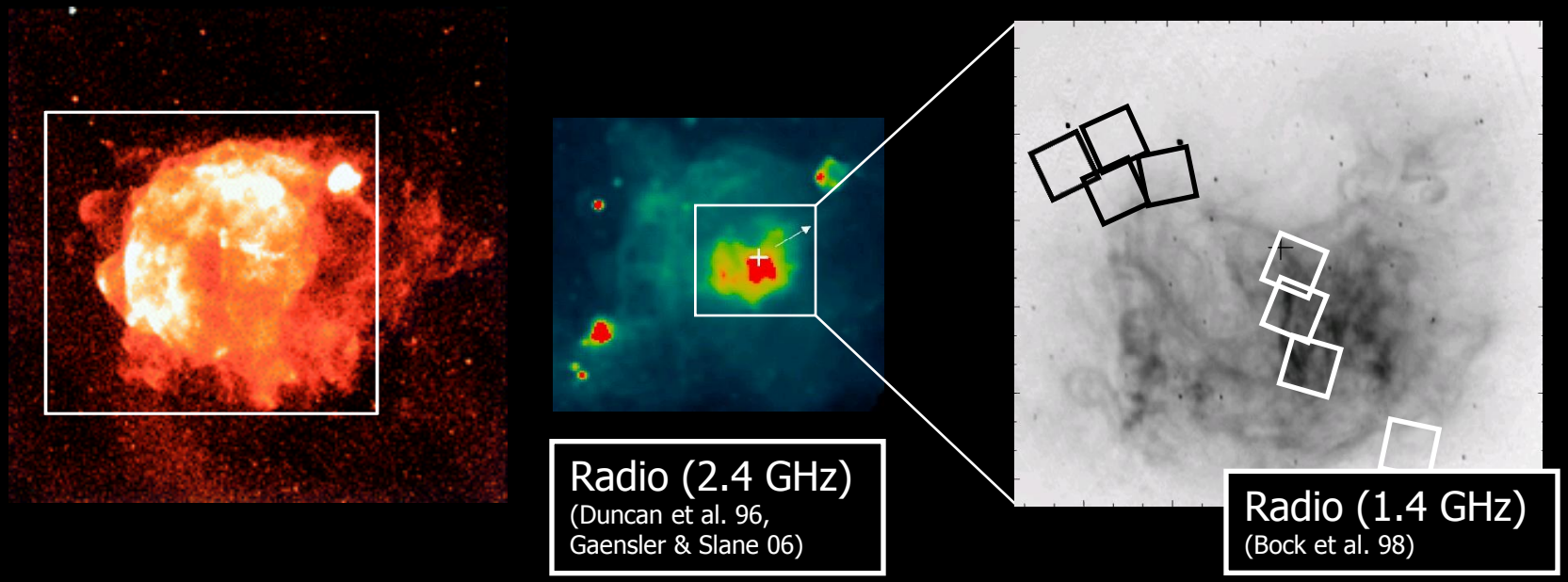


- Vela X＝電波PWNの外側をすざくで観測
  - 単純に考えれば、X線PWNと電波PWNのサイズは同等か前者が小さい

Crab in multi-wavelength view

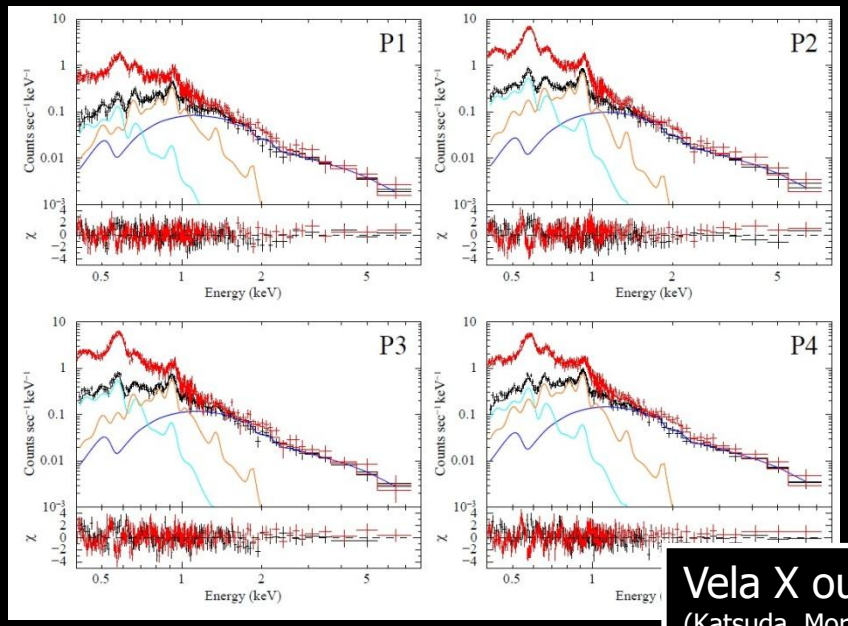


すざくで Vela X の外を見る

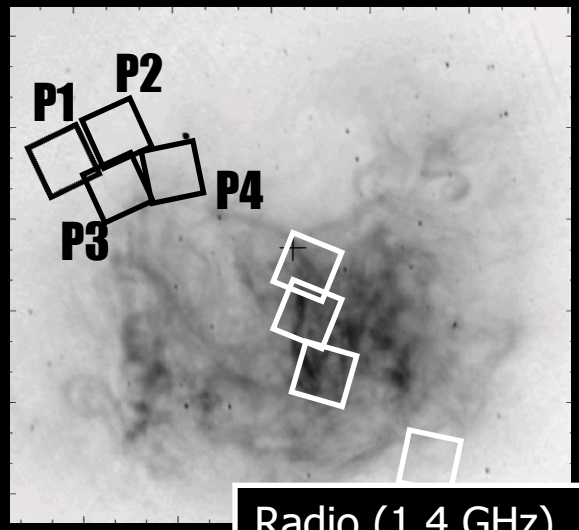


- Vela X＝電波PWNの外側をすざくで観測
  - 単純に考えれば、X線PWNと電波PWNのサイズは同等か前者が小さい
  - t_{sync}～400(B/10uG)$^{-1.5}$(E/10keV)$^{-0.5}$年で、電波PWNは半径1度＝5pcなので、平均バルク速度が0.05*c*で端に達する

すざくで Vela X の外を見る



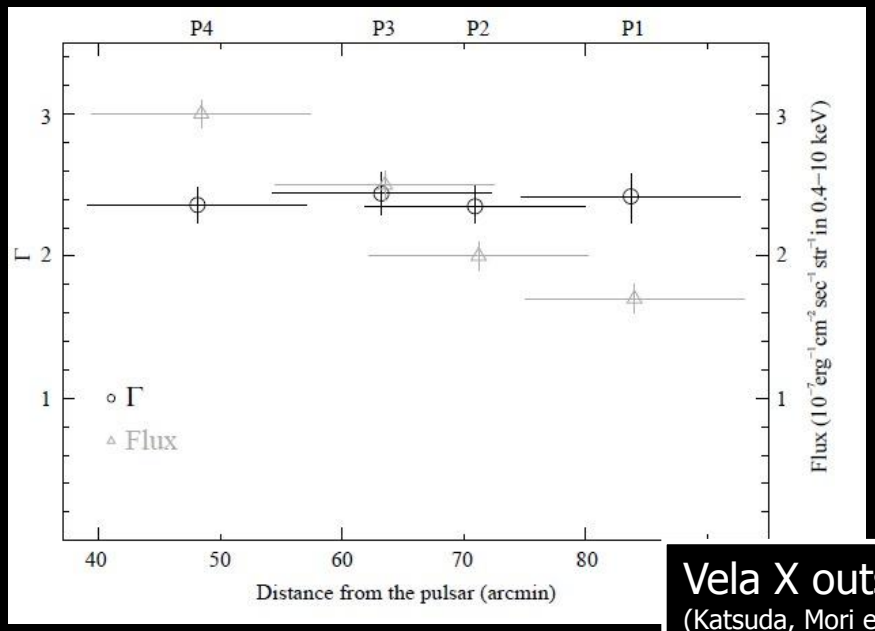
Vela X outside
(Katsuda, Mori et al. in press)



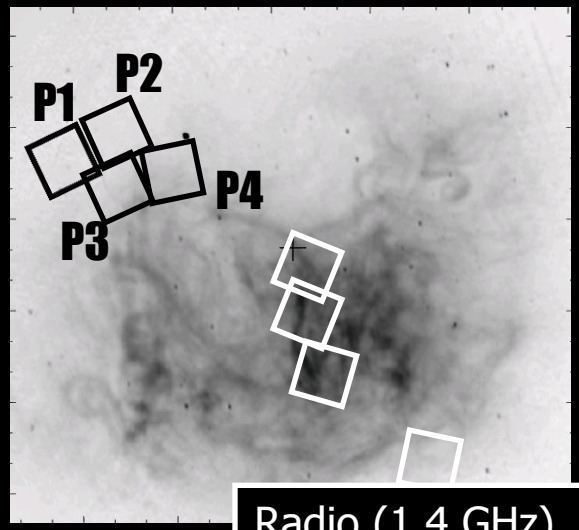
Radio (1.4 GHz)
(Bock et al. 98)

- Vela X の外でも非熱的X線放射を検出

すざくで Vela X の外を見る



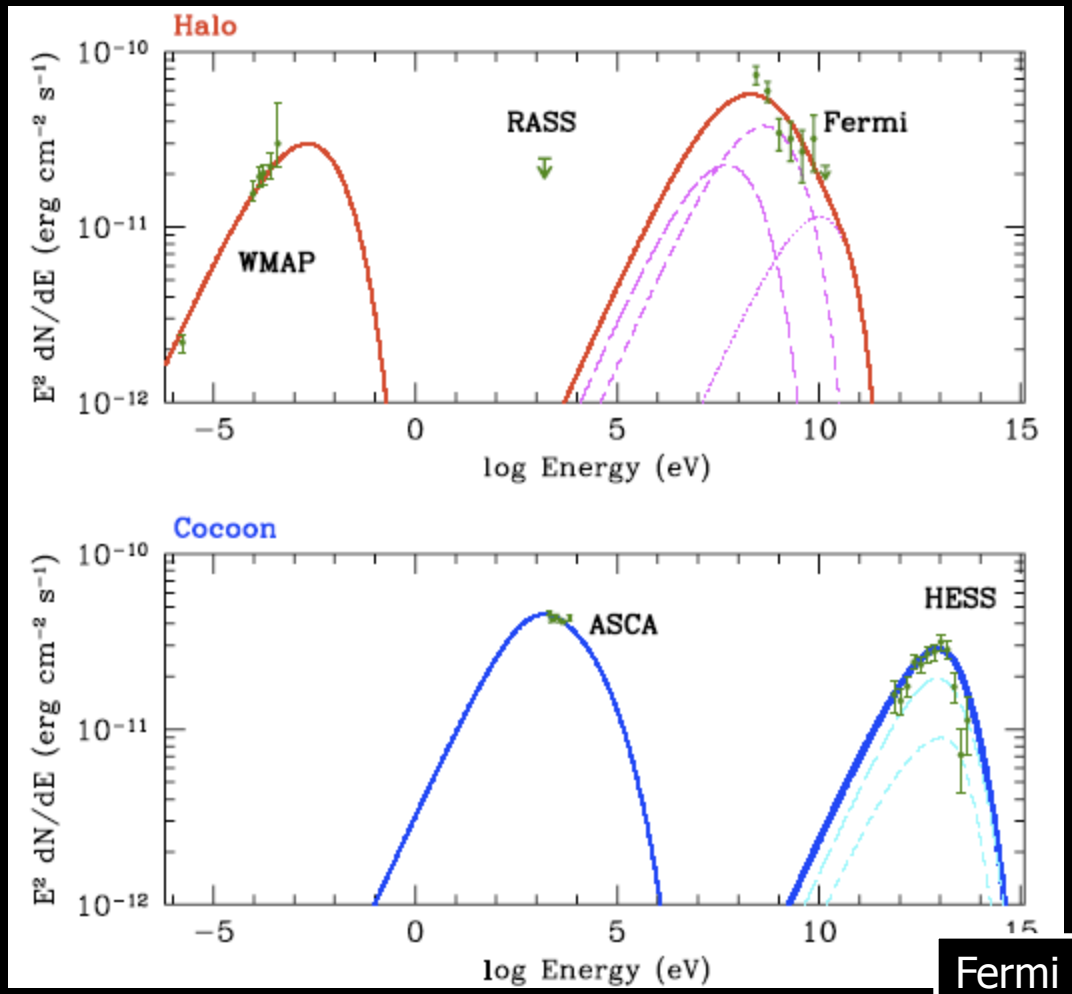
Vela X outside
(Katsuda, Mori et al. in press)



Radio (1.4 GHz)
(Bock et al. 98)

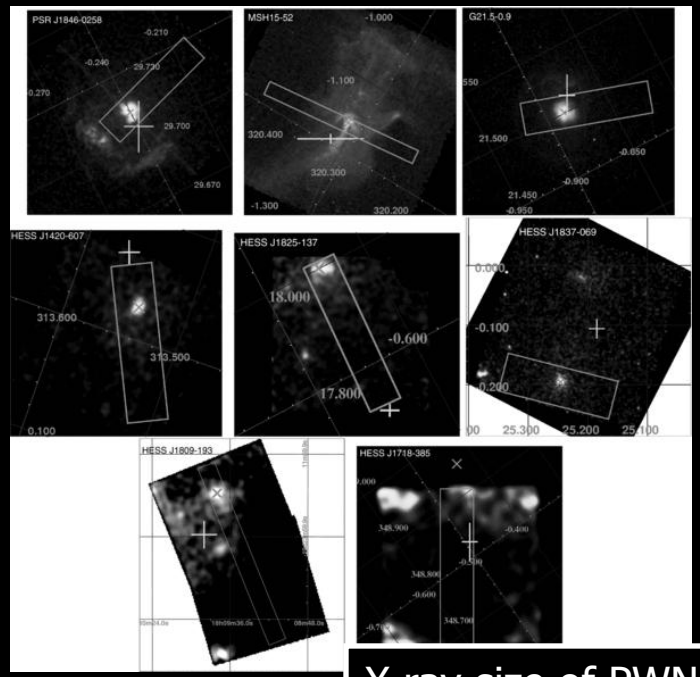
- Vela X の外でも非熱的X線放射を検出
  - ベキはほぼ一定で輝度が徐々に落ちる
  - 電波よりも非熱的X線のサイズのほうが大きい
  - ２成分か？

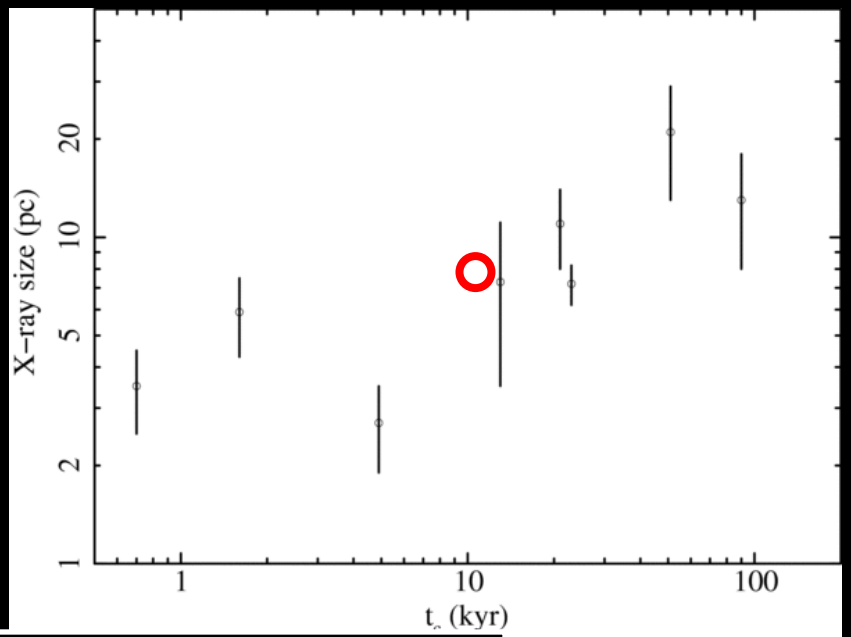
2成分か？



Fermi
(Abdo et al. 2010)

大きすぎるか？





X-ray size of PWN as a function of pulsar age
(Bamba et al. 10)

- 経験則からも矛盾しない結果に
  - ただし、Vela は近いのでバイアスかかっているカモ

まとめ

- PWN（中身）とSNR(皮)の時間発展を同時に考えていくことが肝要
  - リバースショックに影響を受けている観測結果がある一方で、破壊されずに拡がっているようにもみえる
  - リバースショックで破壊されずに生き残る方法は？TeV unID src？パルサーが逃げればいい？
  - 電子宇宙線への影響はどうなる？SNRからの脱出の仕方に関連するはず
  - 2成分？ Integrated spectrum だけではなく、CTA の spatially-resolved spectroscopy は強力
  - Astro-H は中身も皮もしっかり捉えます