
マグネターに付随する 超新星残骸の観測的研究

中野俊男¹, 榎戸輝揚^{2,3}, 牧島一夫^{2,4}

¹東京大学, ²RIKEN, ³GSFC, ⁴RESCUE

1. 超新星残骸(SNR)の観測と中性子星(NS)

- **マグネター**を含むNSの誕生の研究

- 4-5桁にも渡る磁場強度分布

- **マグネター** : 10^{14-15} G
- 電波パルサー(典型) : 10^{11-13} G
- CCO(Central Compact Object) : 10^{12-11} G ?

- 爆発メカニズムの違いの有無

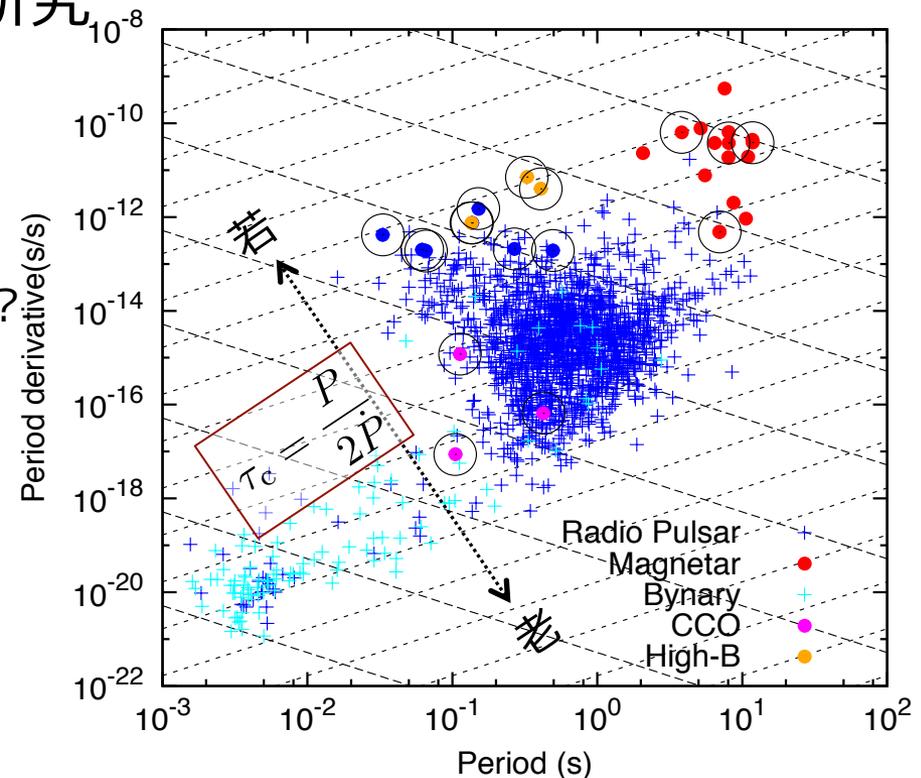
- X線によるSNRの観測

- 光学的に薄いプラズマ

- 電子温度 ($kT \sim 0.5$ keV)
- 電離状態

- 超新星、親星の情報

- 元素組成 (O, Ne, Mg, Si...)
- 爆発のエネルギー ($\sim 10^{51}$ erg)
- 年齢推定



	ペア数 / 個数	典型的年齢 (kyr)
パルサー	30/~2300	10-10,000
マグネター	10(?)/26(21)	10 (?)
SNR	~300	10

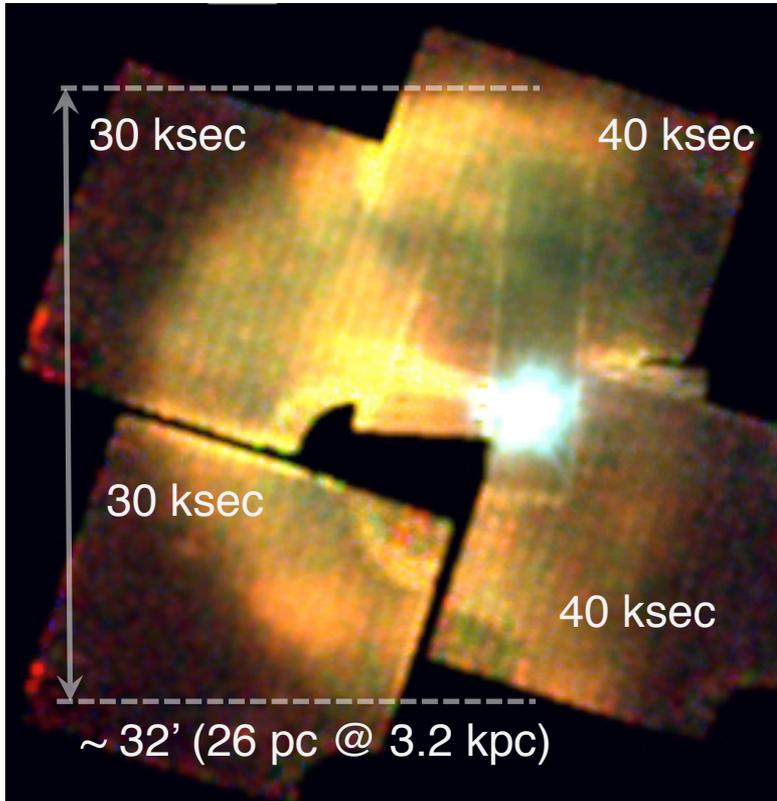
- 中性子星観測のみでは得られない様々な情報を与えてくれる。

2. マグネターに付随するSNR CTB109の観測

- 古くから知られているマグネター/SNR (GregoryFahlman 1980)

– 距離: 3.2 ± 0.2 kpc (kothes+2012)

先攻研究



False color X-ray Image taken by Suzaku.
0.4-0.9 keV (red), 0.9-1.7 keV (green),
1.7-5.0 keV (blur)

- CTB109

- 巨大分子雲と相互作用 (半月状)
- 中年齢 $\tau_{\text{SNR}} \sim 13$ kyr (Sasaki+2013)

- 1E 2259+586

- $P = 6.98$ s, $\dot{P} = 4.8 \times 10^{-13}$ ss⁻¹ (Gavriil+2002)
- $B = 5.9 \times 10^{13}$ G, $\tau_c = 230$ kyr

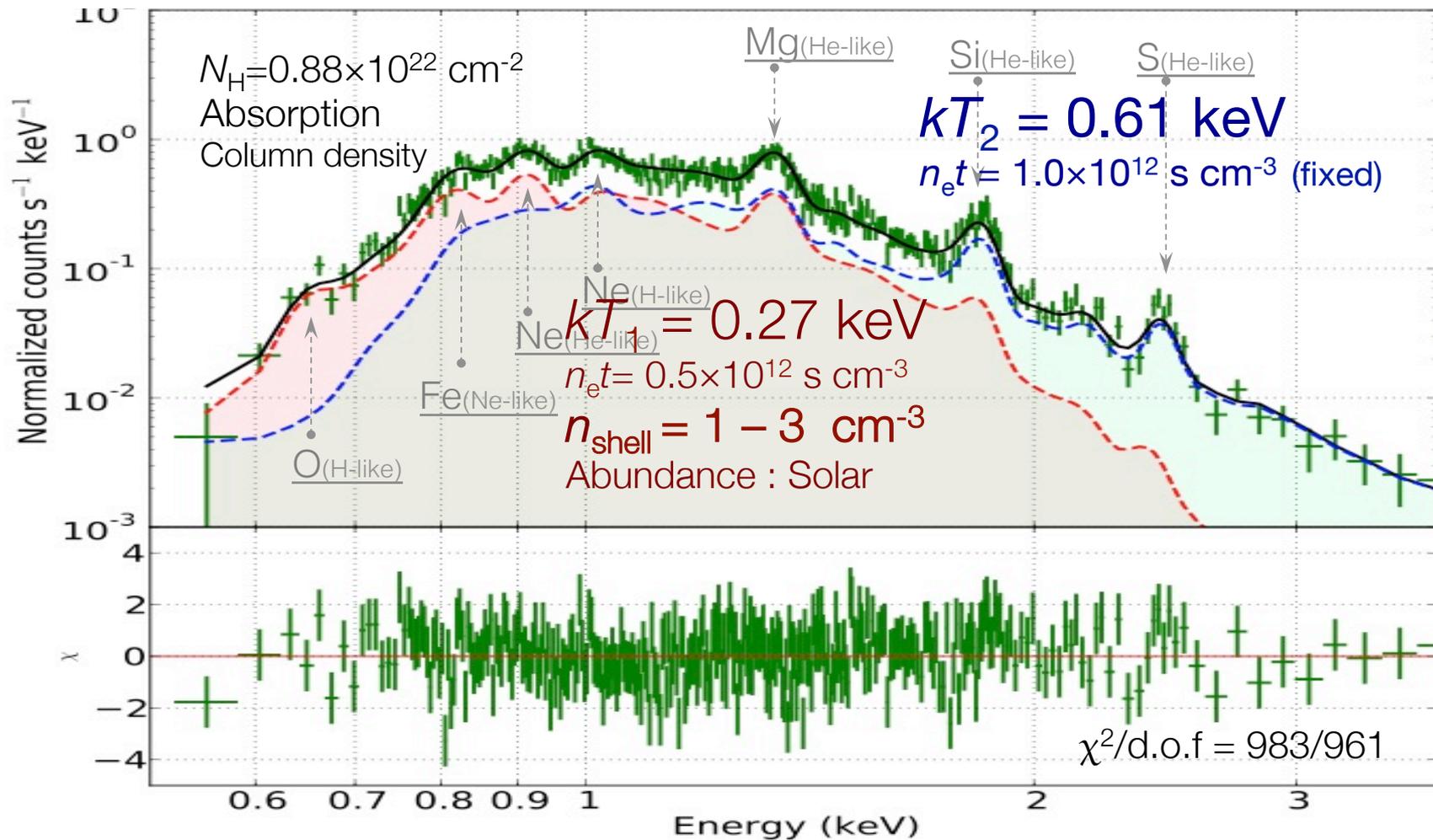
非常に大きな年齢の不一致

$$\tau_c (230 \text{ kyr}) \gg \tau_{\text{SNR}} (1.3 \text{ kyr})$$

- 「すぎく」による観測

- 1E 2259+596: 120 ksec (Enoto+2009)
- CTB109 : 4 pointings (Nakano+ in prep)

3.2 スペクトル解析 モデルフィッティング



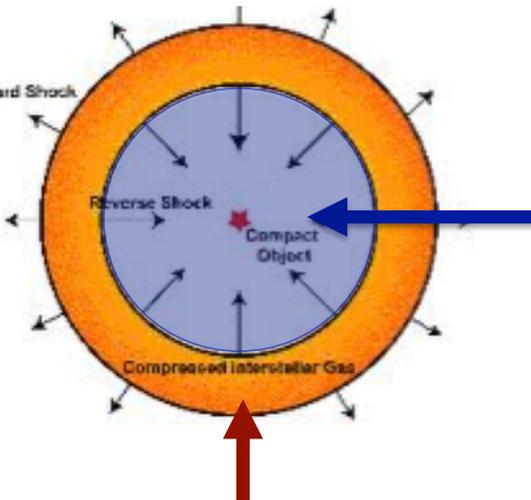
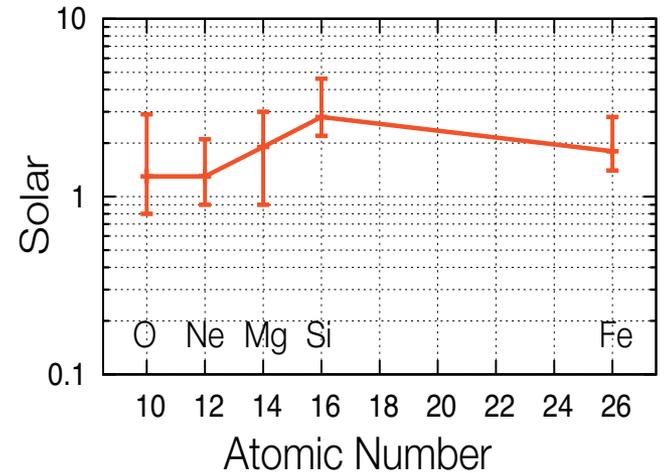
電離非平衡プラズマモデル (NEI) を用いてフィッティング
スペクトルを説明するのに2温度必要 (low and high kT)

4. 超新星爆発の物理量を推定

イジェクタ ($kT_2 = 0.61$ keV)

- 各元素のアバundanceは僅かに太陽組成より大きい。
- アバundanceパターンは典型的なII型SNRと際立った違いは見受けられない。

15~25 M_{\odot} (?)



衝撃波加熱されたISM ($kT_1 = 0.27 \pm 0.1$ keV)

$$v_{\text{shell}} = \sqrt{\frac{16}{3\bar{m}} k_B T_{\text{shell}}} \simeq 470 \pm 30 \text{ km/s}$$

$$E_{\text{ex}} = 1.53 \times 10^{42} \left(\frac{v_{\text{shell}}}{\text{km/s}} \right)^2 \left(\frac{R_{\text{shell}}}{\text{pc}} \right)^3 \left(\frac{n_0}{\text{cm}^3} \right) \text{ erg}$$

$$= (0.7 \pm 0.4) \times 10^{51} \text{ erg} \quad * n_0 = n_{\text{shell}}/4 = (0.25 - 0.8) \text{ cm}^3$$

$$\tau_{\text{SNR}} = \frac{2}{5} \frac{R}{v} = 13 \pm 1 \text{ kyr} \ll \tau_c = 230 \text{ ky}$$

年齢の不一致を再確認 $\tau_c \gg \tau_{\text{SNR}}$

$$R = 15 \pm 1 \text{ pc}$$

$$= (4.6 \pm 0.3) \times 10^{14} \text{ km}$$

$$(D = 3.2 \pm 0.2 \text{ pc})$$

Sedov-Taylor similarity solution

$$R(t) = \xi_0 \left(\frac{E_0}{\rho_0} \right)^{1/5} t^{2/5}$$

$$v(t) = \frac{2}{5} \xi_0 \left(\frac{E_0}{\rho_0} \right)^{1/5} t^{-3/5}$$

$$T(R, t) = \frac{8}{25} \xi_0^2 \left(\frac{\mu H}{k_B} \right) \frac{(\gamma - 1)}{(\gamma + 1)^2} \left(\frac{E_0}{\rho_0} \right)^{2/5} t^{-6/5}$$

$$\xi_0 = 1.15 (\gamma = 5/3)$$

5. 磁場崩壊を考慮したマグネター特性年齢 (1)

- 特性年齢
 - 一定常磁場を仮定している
 - マグネターは磁場駆動

$$\dot{\omega} \propto B^2 \omega^n \Rightarrow \tau_c \equiv \frac{P}{(n-1)\dot{P}}$$

回転駆動中性子星用

$\tau_c (230 \text{ kyr}) \gg \text{True age}$

- 現象論的な磁場モデルを導入

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -aB^{1+\alpha} \quad (\text{Colpi+2000})$$

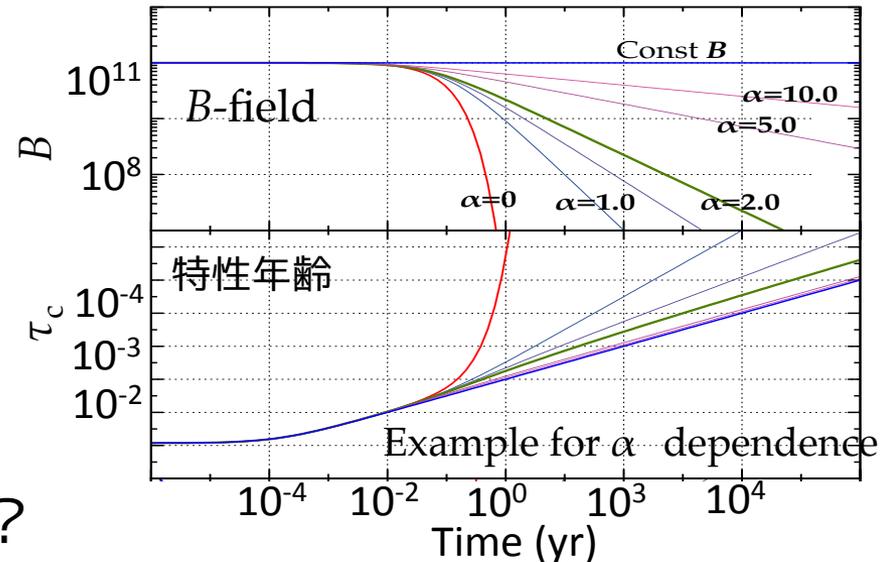
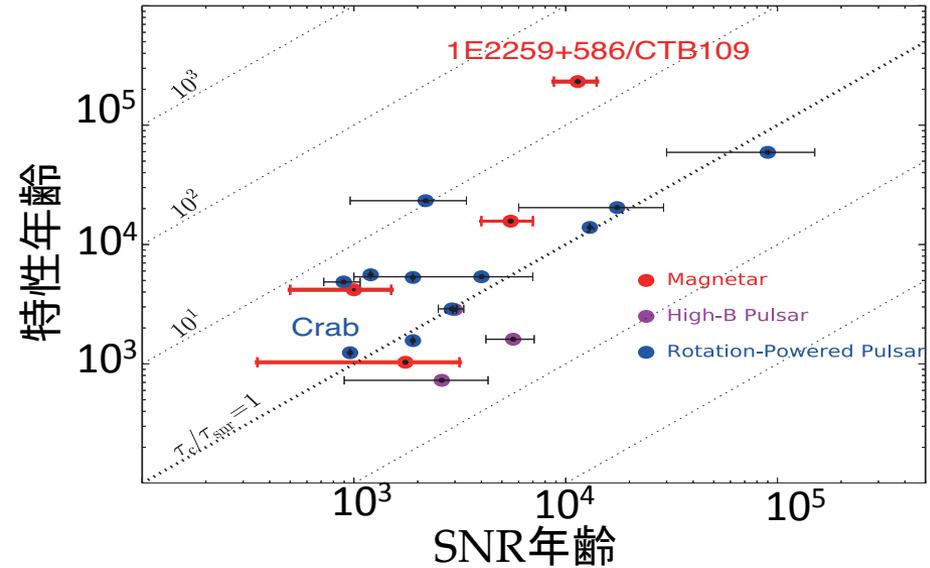
For Magnetars

$$\Rightarrow B(t) = B_0 \exp(-t/\tau_B) \quad (\alpha = 0)$$

$$\Rightarrow B(x) = \frac{B_0}{(1 - \alpha t/\tau_B)^{1/\alpha}} \quad (\alpha \neq 0)$$

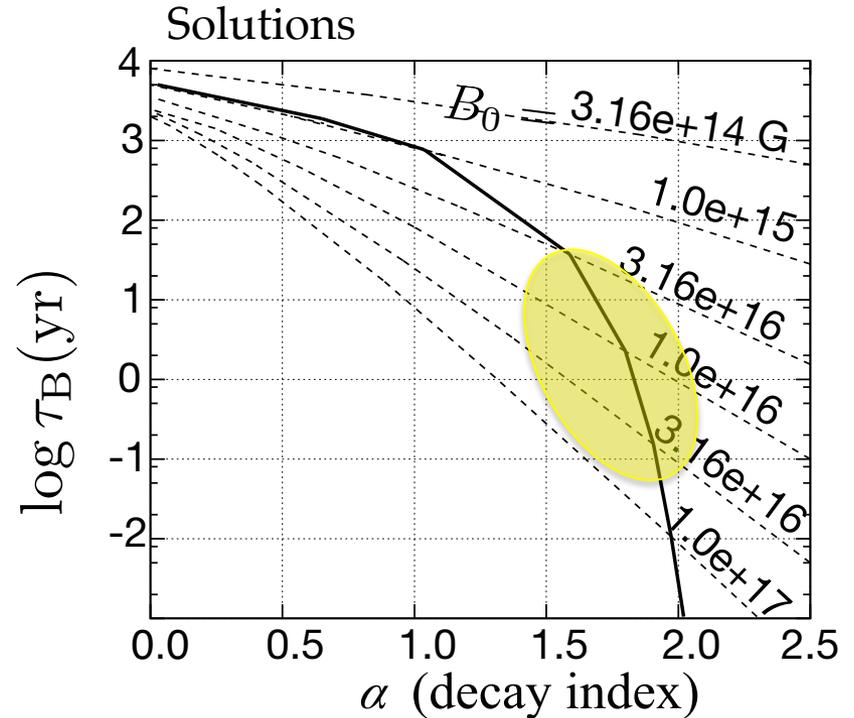
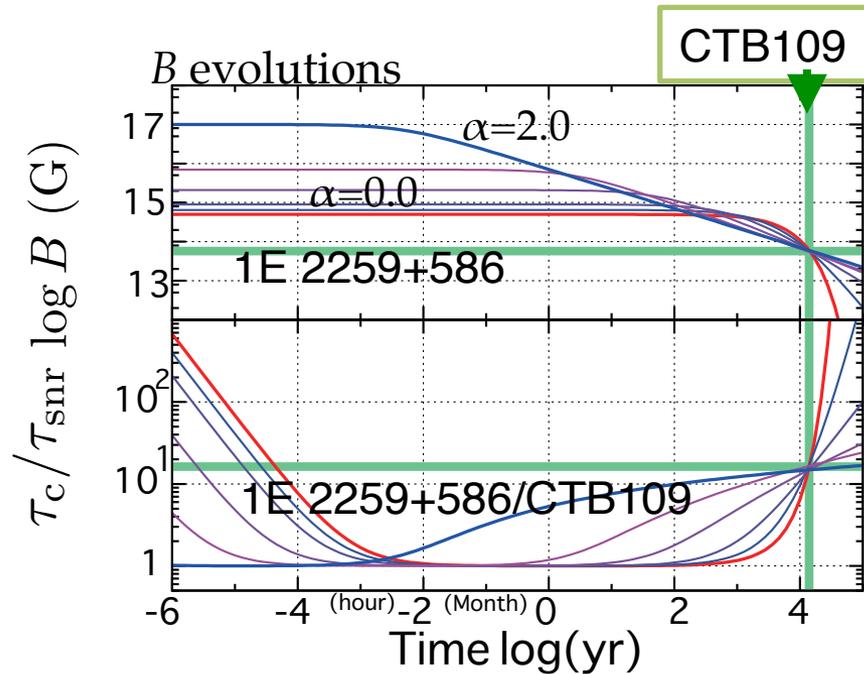
$\tau_B \equiv 1/aB_0^\alpha$

マグネターに適した α はいくつか？



6. 磁場減衰を考慮したマグネター特性年齢 (2)

- 磁場減衰モデルを 1E 2259+586/CTB109 に適用
 - 満たすべき条件 → 特性年齢と磁場強度と実年齢(代用CTB109年齢)



- $\alpha=0$ → 指数関数的な激しい崩壊、不自然な τ_B
- $\alpha=2$ → 緩やか崩壊、ただし強力な初期磁場が要求される

現状では $1.5 < \alpha < 1.8$ が比較的好ましい

7. 若い中性子星としてのマグネター

- 磁場崩壊は特性年齢を大きくする
 - マグネターはこれまで考えられていたよりも若い
- 銀河系内の分布から特性年齢の過大性を独立に評価
 - 中性子星の銀河面(超新星爆心)からの距離は年齢に比例
 - 非常に銀河面に鋭く分布

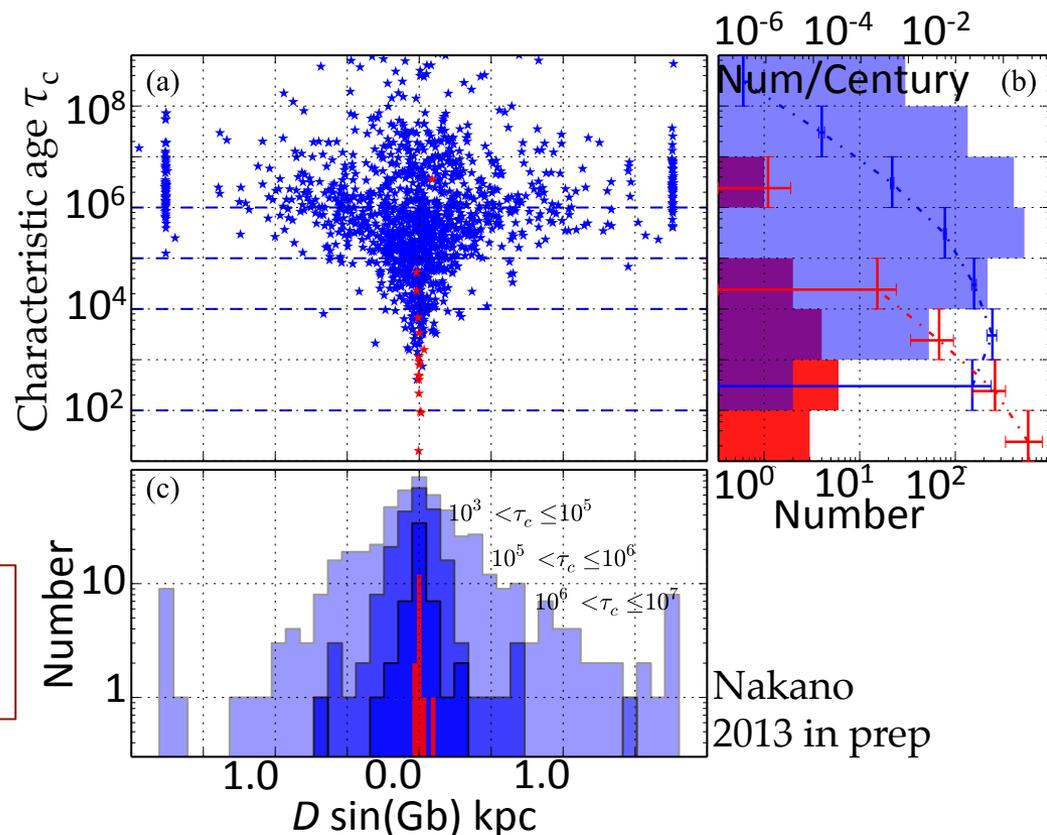
やはり特性年齢よりも若い
もしくは
爆発時の初期速度が遅い

$$v_{\text{mag}} \simeq v_{\text{psr}}$$

初期速度に大差はない報告有り

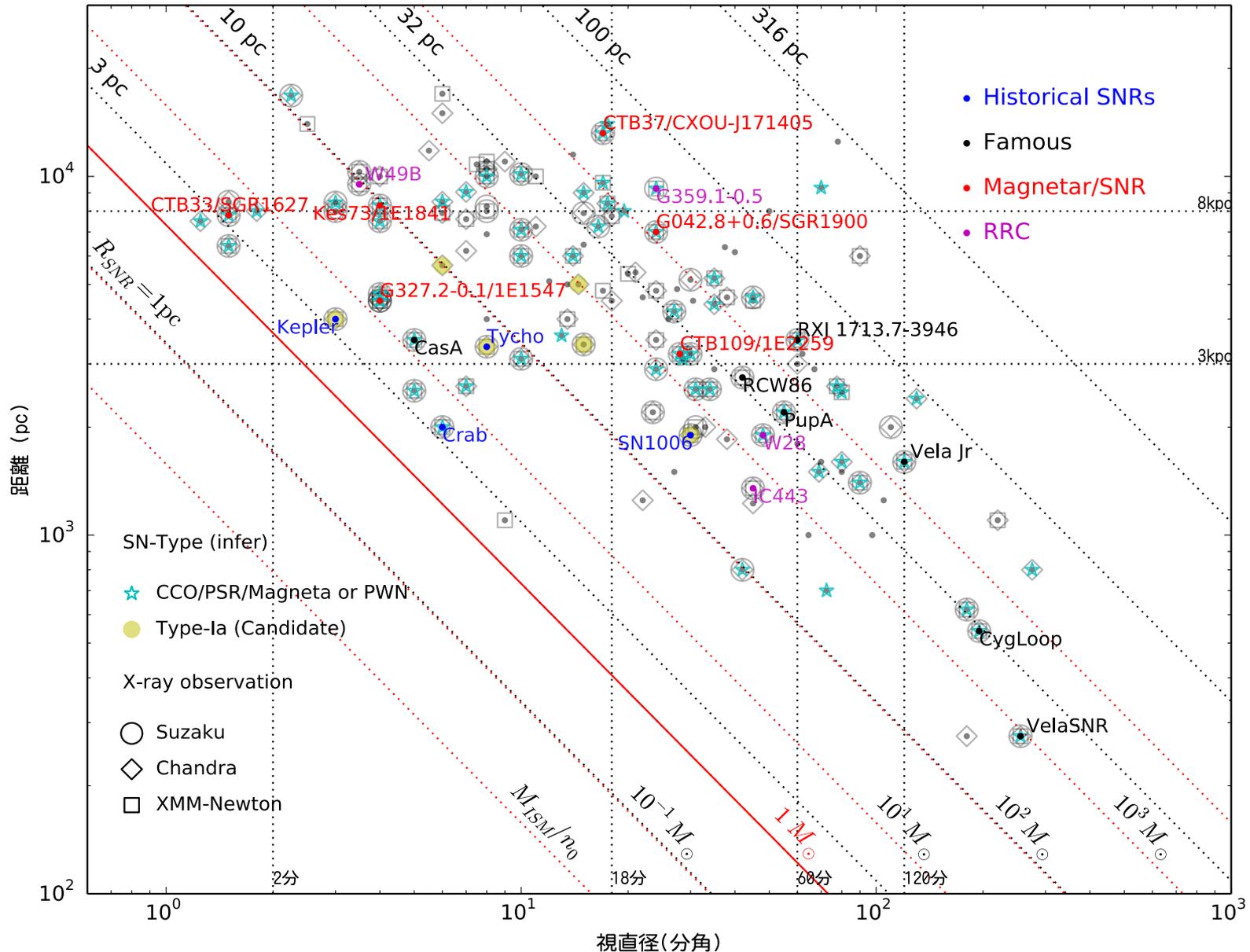
(Tendulkar+2012)

統計的にマグネターは同じ
特性年齢のパルサーより若い

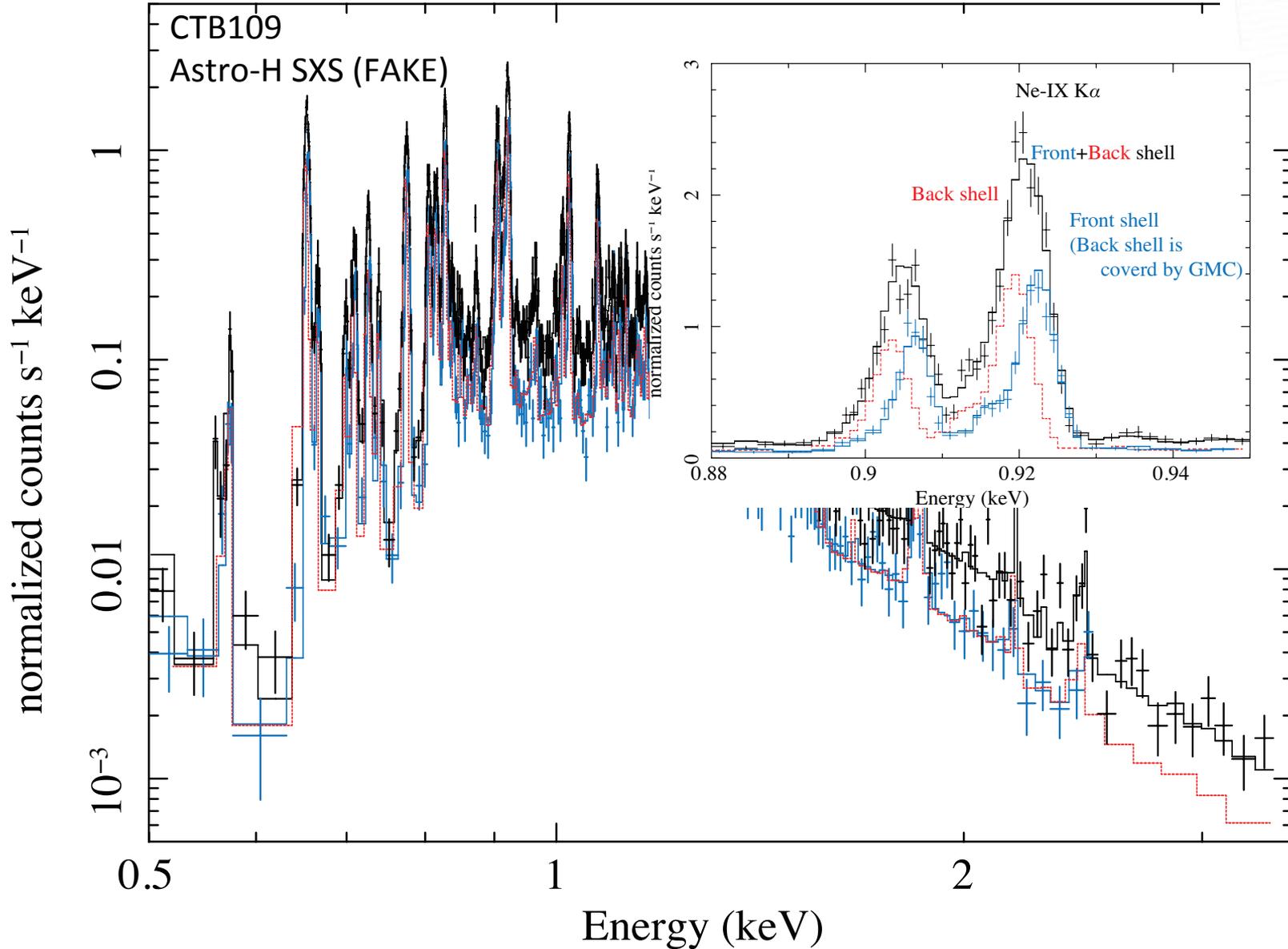


Nakano
2013 in prep

A. 近年のSNR/NS観測とこれから



A. 近年のSNR/NS観測とこれから



8. まとめ

- 「すざく」による、マグネター 1E 2259+586に付随するSNR CTB109の観測データを解析した。
- 典型的なII型SNRと比べて、元素組成や爆発のエネルギーに特筆すべき違いは見受けられなかった。
- 1E 2259+586の特性年齢がCTB109のSedov年齢を大幅に上回る年齢問題を再確認した。
- マグネター磁場の減衰により特性年齢が実年齢よりおおきくなることを考慮し、年齢問題の説明を試みた。
- マグネターはこれまでに考えられてきた以上に若い可能性がでてきた。銀河系内のパルサー/マグネターの空間分布からこれを検証し、支持する結果を得た。