超新星残骸の観測と 中性子星の磁場進化

1. パルサーと超新星残骸(SNR)



2. 銀河系SNRの分布





2.2 Ia型SNRとCC型SNR



2.3 SNRからマグネター発見



3.1 Fe-Kα線による Ia型とCC型の判別



3.2 Ne/Fe アバダンス比による判別



CCDs, respectively. The best-fit models are indiscated by the dashed and dotted lines.

大小マゼラン星雲のSNRをNe/Feのアバンダンス比で分類

3.3 水素状/ヘリウム状 比による判別



3.4 水素状/ヘリウム状 比による判別



Fe輝線の中心値とSiの水素状/ヘリウム状の輝線強度比は相関 同様にla型/CC型の判別指標になる。

4.1 AXP 1E 2259+586とSNR CTB109

マグネターに付随するSNRで、視直径が大きく明るい



4.2 SNR CTB109のX線スペクトル



<u>4.3 SNR CTB109のX線スペクトル</u>



4.4 特性年齢とSNR年齢の齟齬



5.1 特性年齢と磁場減衰モデル



5.2 特性年齢と磁場減衰モデル



6. SNR年齢と特性年齢



マグネター/SNRでは 年取ったものほど大きな年齢差 CCOではさらに大きな年齢不一致 強磁場パルサーでは特性年齢がSNRよりも小さい傾向



中性子星のタイプによって特性年齢の過大/過小?

8.1 PPdot図上での推移 n < 3



8.1 PPdot図上での推移 n > 3



P (s)

9. その他の n の測定

Long-term timing observations of 374 pulsars

G. Hobbs,^{1,2*} A. G. Lyne,¹ M. Kramer,¹ C. E. Martin¹ and C. Jordan¹

¹University of Manchester, Jodrell Bank Observatory, Macclesfield, Cheshire SK11 9DL ²Australia Telescope National Facility, CSIRO, PO Box 76, Epping, NSW 1710, Australia

Accepted 2004 June 24. Received 2004 June 22; in original form 2003 November 4

$n = u \ddot{ u} / \dot{ u} \Rightarrow \ddot{ u} = n \dot{ u}^2 / u$ 磁気双極子(n=3)で期待される値よりも桁で大きい。

developed to mitigate the effects of timing noise by whitening the pulsar timing residuals. This whitening is applied before standard fitting procedures are followed to measure the astrometric and dispersion measure (DM) parameters of a pulsar. We show that the values obtained using this new technique are consistent with other methods, and that the new timing solutions are, in general, significantly more precise than those in earlier publications. We consider the second derivative of the frequency ν of pulsars, $\ddot{\nu}$, and the DM gradient, d(DM)/dt, in detail. The $\ddot{\nu}$ values are obtained by fitting to timing residuals that have not been whitened and are found to be orders of magnitude larger than those expected from magnetic dipole radiation; the measured values are dominated by the effects of timing noise, and therefore lead to braking indices that are not consistent with magnetic dipole radiation. We find a dependence between |d(DM)/dt| and DM of $|d(DM)/dt| \approx 0.0002\sqrt{DM}$ cm⁻³ pc yr⁻¹, which allows DM variations to be estimated for any radio pulsar.

Key words: methods: data analysis - astrometry - pulsars: general.

ジは多くの電波パルサーで測定されているが、n は3より非常に大きく、 気双極子によるスピンダウンを反映していないと考えられている。

10. 磁場の変化とBraking index n 特性年齢 = 実年齢 => 磁場は一定 $\dot{\nu} = -\frac{8\pi^2}{3c^3} \frac{B^2 \sin^2 \alpha}{I} \nu^3$ 特性年齢 > 実年齢 => 磁場は減衰 $n_{\rm obs} = n + \frac{\nu}{\dot{\nu}} \left(-\frac{\dot{I}}{I} + 2\frac{\dot{\alpha}}{\tan\alpha} + 2\frac{\dot{B}}{B} \right)$ 特性年齢 < 実年齢 => 磁場は増大? e.g., Lyne+2015 Braking index: $n = \frac{\nu \ddot{\nu}}{---}$ が見かけじょう3からずれる nobsが3からどの程度ずれるかの簡単な見積もり ・1E 2259/CTB109の年齢差(23万年/1.3万年)を解消するには… $n_{\rm obs} \sim 1 + \frac{P}{\dot{P}t_{\rm opt}} \sim 32$

・1E 2259のLxをすべて磁場エネルギーで賄うには…

 $n_{obs} = 3 - 4\tau_c \frac{B}{B}$, $E_B = \frac{4\pi R^3}{3} \left(\frac{B^2}{8\pi} \right)$, $L_x \sim L_B = \frac{dE_B}{dt}$ Lx = 1.7×10³⁴ erg/s, B = 5.9×10¹³ G => B ~ 1.5×10¹³ G/kyr → $n_{obs} \sim 240$ 磁場の弱いマグネターSGR 0418+5729の場合 $n_{obs} \sim 210$ 最強磁場のマグネターSGR 1806–20の場合 $n_{obs} \sim 3.002$

1. 特性年齢とBraking index n



ATNF Pulsar catalogue (Manchester+2005) より^{*i*}が**正のものだけ**を用いて作図 主な原データは Hobbs+2004, Espinoza+2011, Dib & Kaspi 2014

12. PPdot図上での推移



まとめ

- ◆ SNR観測は中性子星の親星や超新星を探る重要な手掛かり
- ◆ これまでに中性子星2627天体(ATNF)、SNR383天体 (SNRCat)が発見され、そのうち60-80天体が関連し合う
- ◆ 中心天体が未発見のSNRのla/CC型の判別も重要となる
- ◆ 特性年齢とSNR年齢の比較は、中性子星の長期的な磁場進化 の間接的な指標となる
- ◆ 磁場の変化は、Braking index n を3(磁気双極子放射)から、
 大きくずらす可能性がある
- ◆ 今後の *i*の 測定に 期待