

2012年 第42回天文・天体物理若手の会 夏の学校@福井県東尋坊温泉三国観光ホテル

コンパクトオブジェクト分科会 33c

強磁場電波パルサーにみられる X線光度の超過

○青木雄太（山形大学大学院 理工学研究科）

Abstract

- 強い磁場を持った高速に回転する中性子星は、電波パルサーとして発見され、回転エネルギーを電磁エネルギーに変換して電波からガンマ線までの広い帯域でパルス放射をしている。これらの天体は中性子星の回転をエネルギー源として輝いており、回転駆動型パルサーと呼ばれる。回転周期(P)とその変化率(\dot{P})から、パルサーの双極磁場(B_d)を見積もることができ、典型的には $B_d \sim 10^{12}$ Gである。これらのパルサーよりも2桁以上も強い磁場 $10^{14} - 10^{15}$ Gを持ち、磁場をエネルギー源としていると考えられる天体“マグネター”が近年注目されている。我々は、このマグネターと通常のパルサーの間の磁場 $\sim 10^{13}$ Gをもつ“強磁場パルサー”が、マグネターの放射機構を解き明かす鍵となると考え、過去のX線観測のデータを整理し、回転エネルギーの損失(\dot{E})とX線 Luminosity (L_x) との関係进行调查した。その結果、強磁場パルサーには、マグネター様の放射をする天体と、通常のリターン駆動型パルサーのように振る舞う天体の2種類があることがわかってきた。
- しかしながら、強磁場パルサーの観測サンプル数が依然として少ないため、我々は新たに、昨年11月に強磁場パルサーの1つであるPSR J0726-2612をX線天文衛星「すざく」を用いて新たに観測した。その結果、マグネターに似た熱的放射成分(温度 ~ 80 eV、X線フラックス $\sim 10^{-13}$ erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$)を確認することができた。この天体はすざく衛星に先立ってChandra衛星によっても観測が行われており、今回の解析結果はこのChandraの結果_[1]を追随するものとなる。

1. Introduction

<マグネター候補天体> [2] [3]

PとPdotによって予測される磁場は 10^{14-15} G (磁気双極子放射を仮定)

候補天体はSGRとAXPの2種類 (基本的に電波放射はない)

★ SGR : Soft gamma-ray repeater

軟ガンマ線帯域において、繰り返しバーストを起こす天体

★ AXP : Anomalous X-ray pulsar

X線パルサーであるが、伴星を伴わない天体であり、X線放射のエネルギー源が不明の天体。降着駆動型ではない。

この2種類の天体のX線光度は回転エネルギーで説明不可能

<新たな観測的事実～弱磁場マグネターの存在～> [4]

2009年6月にGBM/Fermi、Swiftなどによって発見されたSGR J0418+5729について、より詳細な解析によって新たな磁場強度の上限値が報告された。 [3]

周期 $P = 9.1$ s 周期変化率 $\dot{P} < 6.0 \times 10^{-15}$ s/s

双極磁場の上限値 $B_d < 7.5 \times 10^{12}$ G

この値は今までマグネターと考えられてきた候補天体の中では最も弱い磁場であり、しかも量子電磁気効果が重要となる臨界磁場を下回る。

臨界磁場： $B_{\text{QED}} = 4.4 \times 10^{13}$ G

SGR or AXP



マグネター



$B_d > B_{\text{QED}}$

2. マグネターと同程度の双極磁場を持つ多数の強磁場パルサー

マグネター問題を解くためのヒントとして、マグネターと同程度の強い双極磁場を持つ回転駆動型パルサーに注目する。本研究では典型的な回転駆動型パルサーの持つ双極磁場 $B_d \sim 10^{12}$ G よりも大きい磁場 $B_d \sim 10^{13}$ G を持つ回転駆動型パルサーを“強磁場パルサー”と呼ぶことにする。

これらのパルサーはマグネター候補天体とは違い基本的には電波放射が観測されており、マグネターのようなX線帯域での活動性はない。

しかしこの中には、通常の電波放射が観測されているがPSR J1847-0130のように双極磁場 $B_d \sim 9 \times 10^{13}$ G を持ちマグネター候補天体よりも大きい磁場を持つ天体や、電波放射がなく、マグネターの様なX線帯域におけるバーストが観測されているPSR J1846-0258という天体も存在する。

PSR J1846-0258...Magnetar-like activity in the X-ray, no radio emission.

However, it is accompanied by PWN(Pulsar wind nebula).

PSR J1847-0130...with larger dipolar magnetic field than that of magnetars.

$B_d \sim 9 \times 10^{13}$ G

3. Radio emission from magnetars

マグネターの中にも電波放射をする天体もいくつか見つかってきている。同程度の磁場を持ちながら一方はマグネターとして振る舞い、もう一方は回転駆動型として電波を放射している、という一見奇妙な現象がみられる。また近年では前述したように、マグネターと強磁場パルサーの関連がより複雑になってきている。 [5] [6]

XTE J1810-197 ... $B_d = 2.1 \times 10^{14}$ G

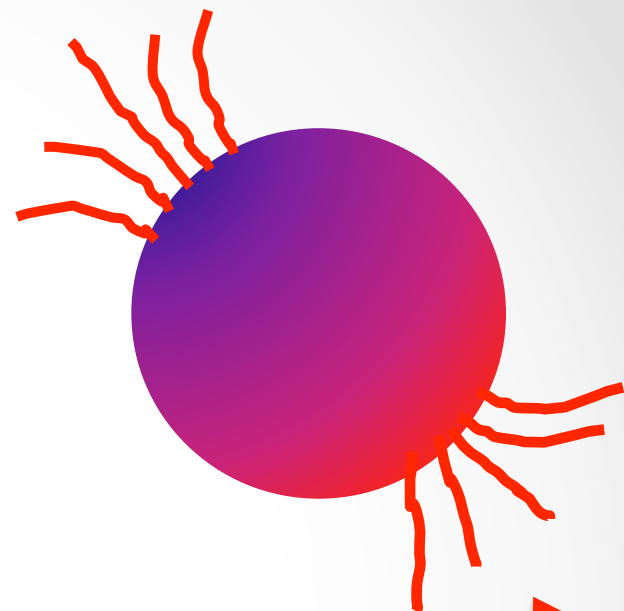
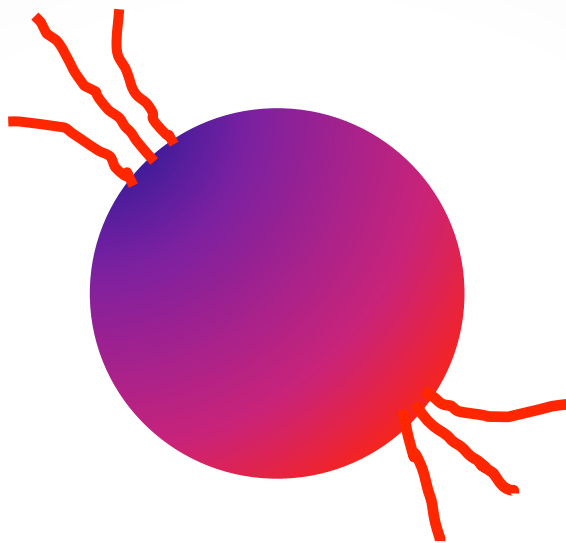
1E 1547-5408 ... $B_d = 3.2 \times 10^{14}$ G

PSR J1622-4950 ... $B_d = 2.7 \times 10^{14}$ G

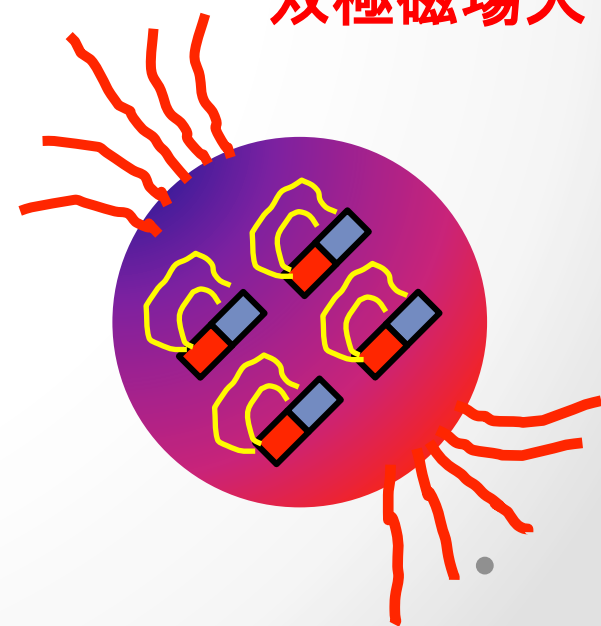
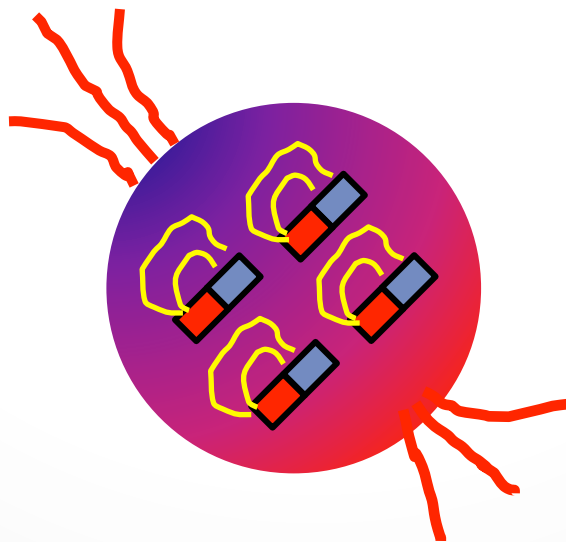
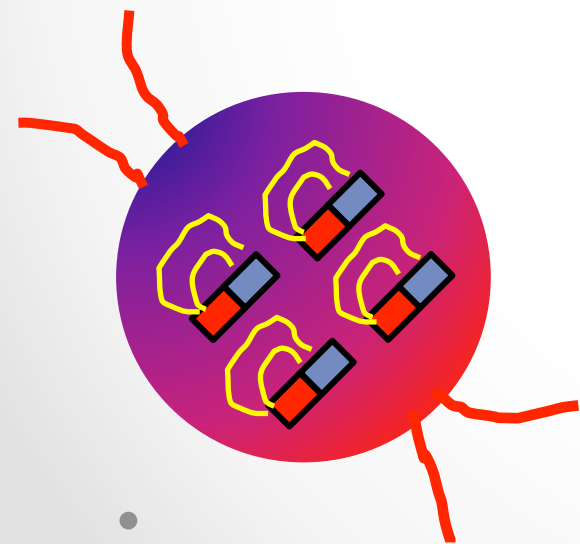
4. 双極磁場と多重極磁場

中性子星には様々な強さの双極磁場を持つものの、磁気エネルギーを解放しない双極磁場が卓越した**回転駆動型パルサーファミリー**（上段）と、ちょうど太陽の黒点のように磁気エネルギーを解放する**多重極磁場成分を同時に持つマグネターファミリー**（下段）の2つの種族が存在するのではないかと考えられる。

回転駆動型パルサーファミリー



マグネターファミリー



5. PSR J0726-2612_[7]

強磁場パルサーの観測サンプル数が依然として少ないため、我々は新たに、昨年11月に強磁場パルサーの1つであり、距離が近いPSR J0726-2612をX線天文衛星「すざく」を用いて新たに観測した。

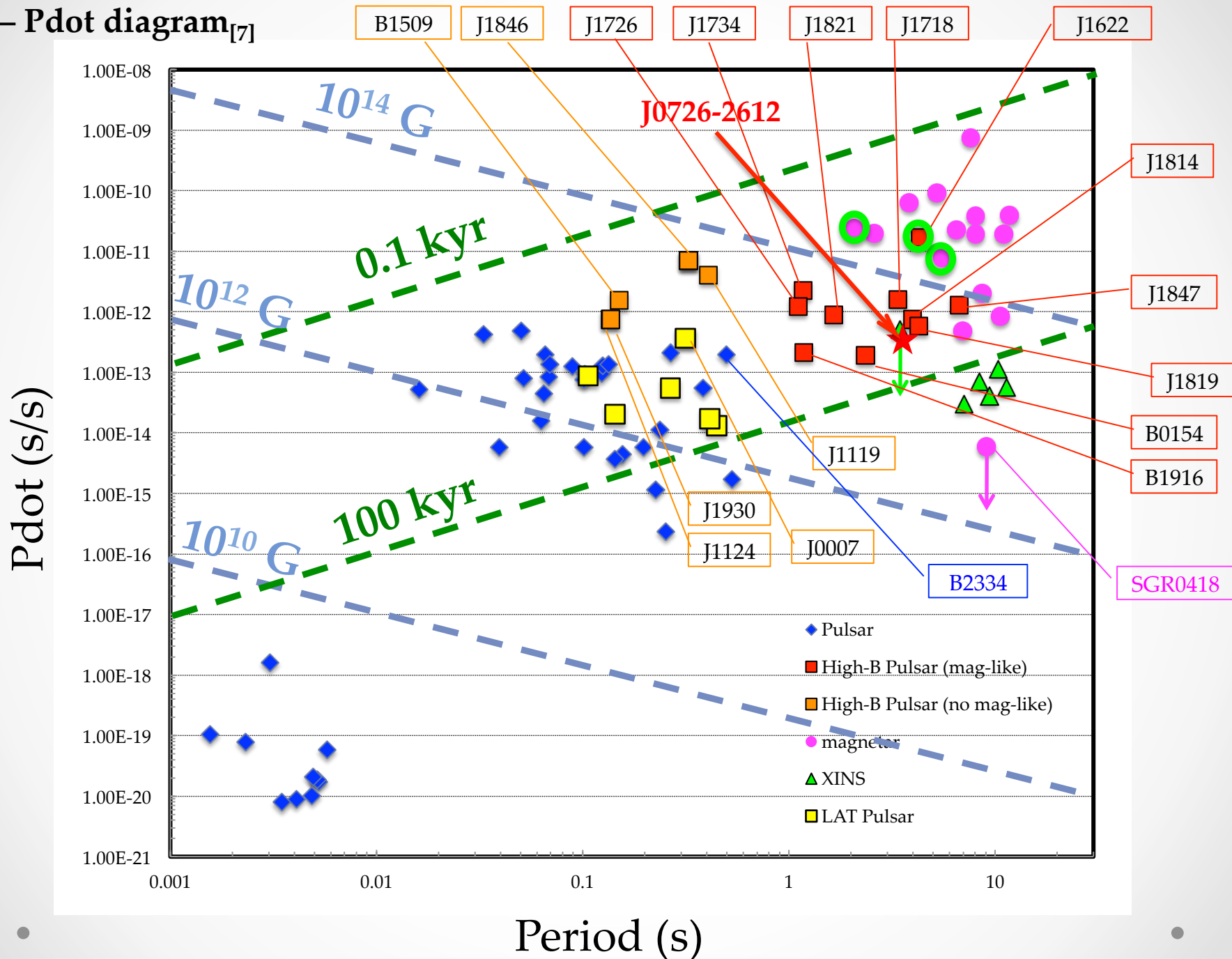
RA_{J2000} 07 : 26 : 08.12
DEC_{J2000} -26 : 12 : 38.1

P [s]	Pdot [s/s]
3.442308487	2.9311×10 ⁻¹³
Edot [erg /s]	distance[kpc]
2.8 × 10 ³²	3.01
B_d [G]	Age [kyr]
3.21 × 10 ¹³	186

6. Log : Suzaku Observation

Start (UT)	End (UT)	Exposure times (s)
2011-11-16 T13:39:37	2011-11-17 T15:00:22	XIS : 43756.9
XIS0	XIS1	XIS3
1/8 window mode	full window mode	full window mode

P – Pdot diagram_[7]



7. Spectral analysis (XIS)

Model : wabs * bbody

N_H [10^{22} cm^{-2}]	kT [eV]	bbody norm	$\chi^2 / \text{d.o.f}$
0 – 0.0707166	83.850 $^{+4.735}_{-6.936}$	1.657×10^{-5} $^{+2.161\text{E-}5}_{-1.869\text{E-}6}$	117.01 / 85

☆ X線 Flux_{abs} (0.5 -10.0 keV)
 $1.9853 \times 10^{-13} \text{ [erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{]}$

☆ X線 Luminosity
 $2.1521 \times 10^{32} \text{ [erg s}^{-1}\text{]}$
(@3.01 kpc 0.5 -10.0keV)

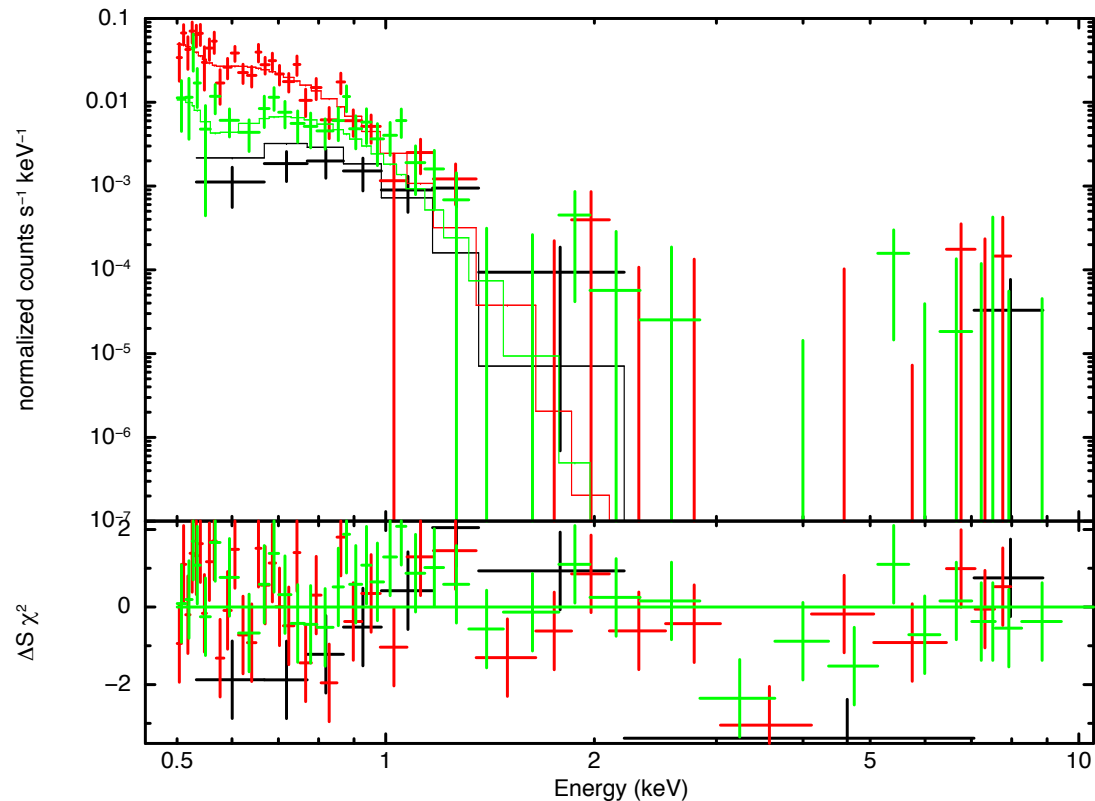


$$L_x \sim 0.769 \dot{E} \text{dot}$$

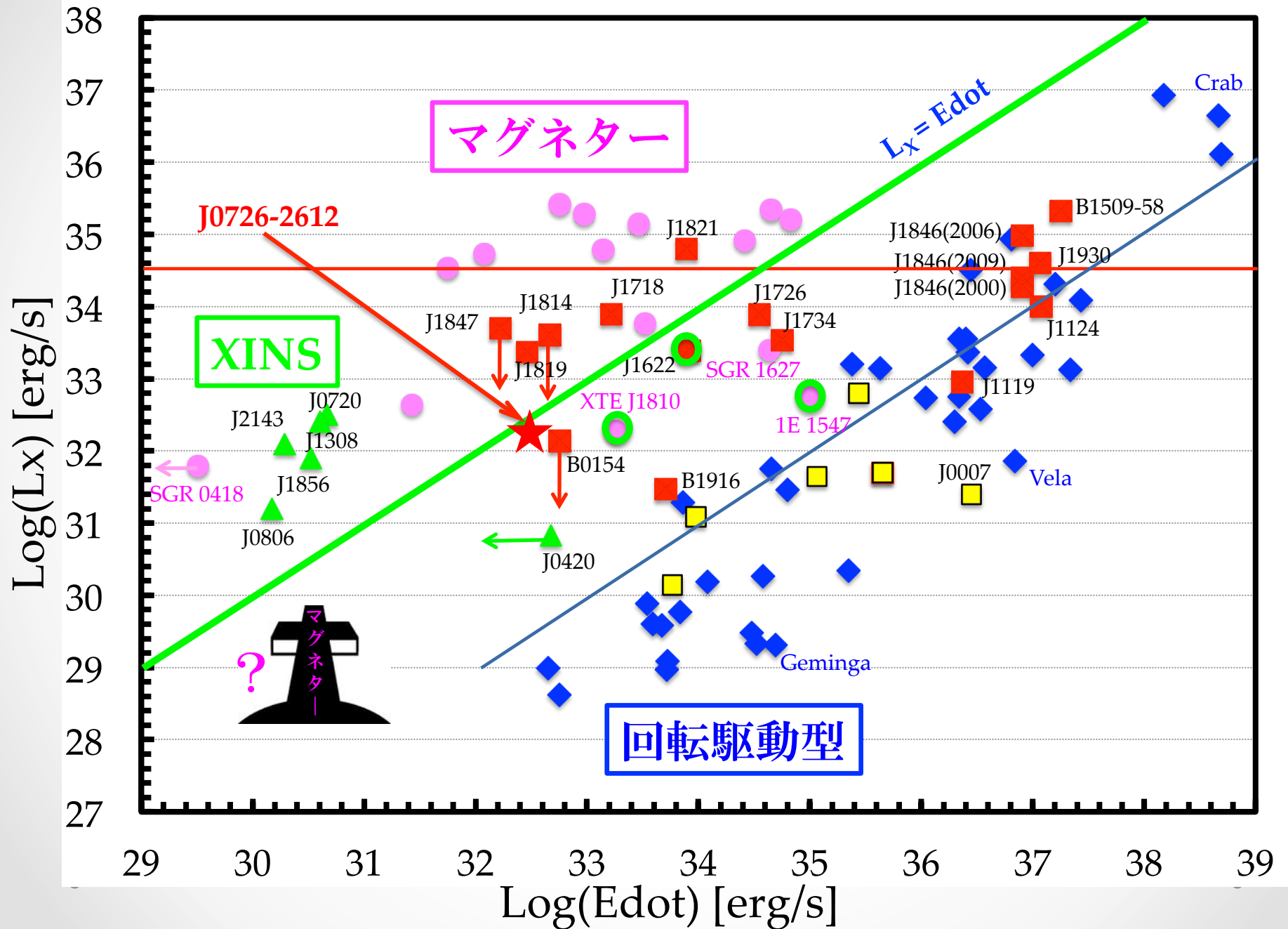
* スペクトル解析(PIN)

今回の観測の解析では10 keV
よりも上の帯域における有効な
countsは得られていない。

しかしながら、これはマグネターのhard tail
が特性年齢に伴い弱くなるという観測結果と
矛盾しない。 [8]



8.1 回転エネルギーの損失: \dot{E}_{rot} とX線Luminosity: L_x の関係



8. 1 回転エネルギーの損失: \dot{E} とX線Luminosity: L_X の関係

X線帯域において過去に観測された、回転駆動型パルサー、マグネター、XINS : X-ray Isolated Neutron Star、強磁場パルサーについてまとめたグラフである。 [9],[10],[11],[12]

回転駆動型パルサーは L_X と \dot{E} の間でよい相関を示しているが、マグネターにはそのような相関は見えない。

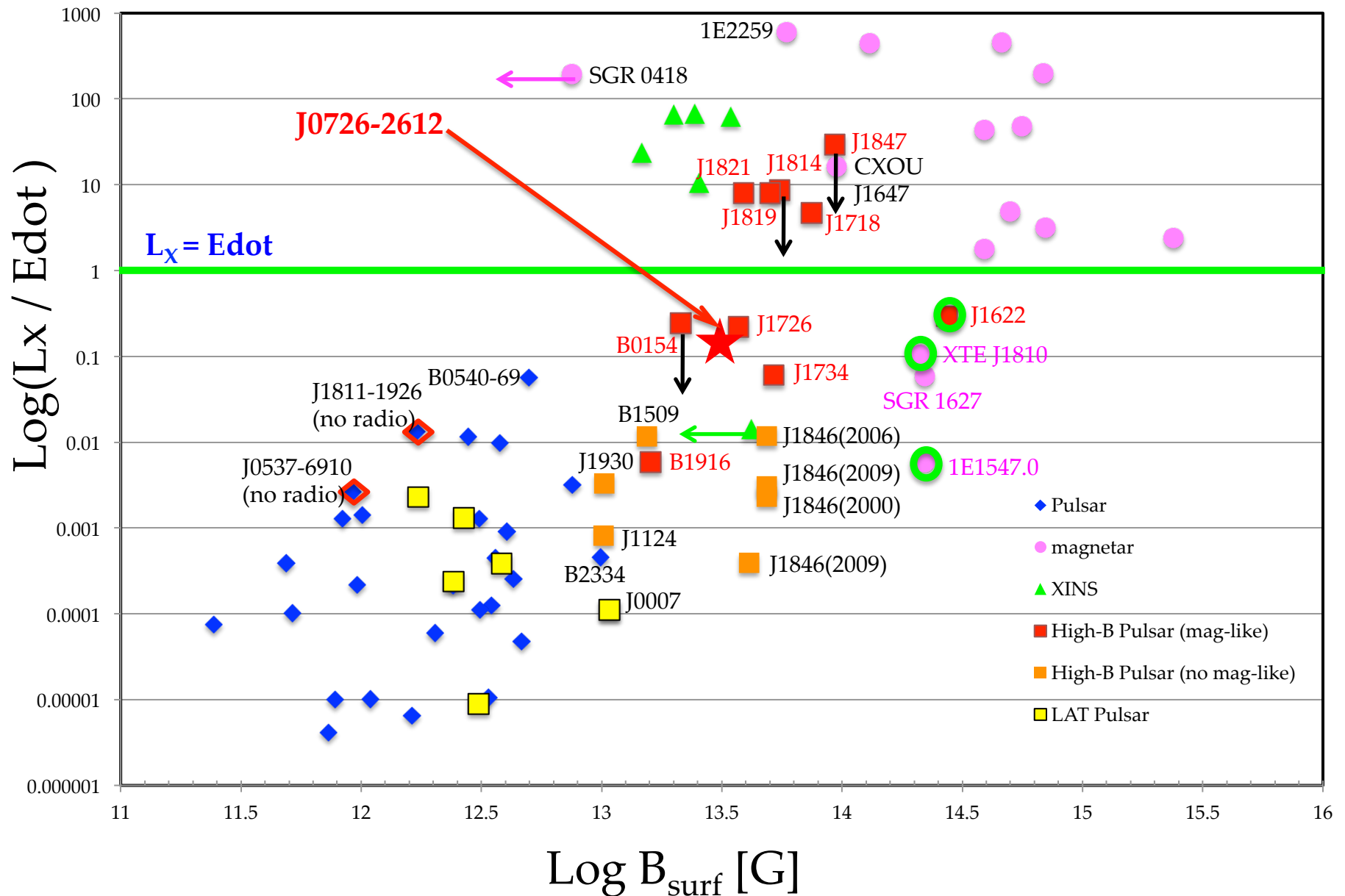
また強磁場パルサーは回転駆動型の相関にのる天体とマグネターのような振る舞いをする天体に分かれている。

今回観測したPSR J0726-2612は後者であり、通常のリターン駆動型が示す相関には当てはまらず、マグネターのような多重極磁場の崩壊が原因ではないかと推測される熱的放射によって、X線光度に回転エネルギーからの超過がみられる。

8.2 双極磁場強度と L_X / E_{dot}

双極磁場の強度と L_X / E_{dot} の関係を示した。

一見すると、双極磁場強度に比例して、 L_X / E_{dot} の値が増加しているようにも見えるが、ばらつきが非常に大きい。



9. Summary

近年のX線観測によって強磁場パルサーや弱磁場マグネターなど、回転駆動型パルサーとマグネターの関係を調べる上で大変興味深い天体がたくさん発見されている。強磁場パルサーは通常のリターン型もしくはマグネターのような振る舞いをする天体の2種類に分類でき、今回観測したPSR J0726-2612は後者であることがわかった。この解析結果は先行して行われたChandra衛星による観測^[1]と矛盾しない結果である。

[1] J.S. Speagle et al. 2012

[3] Thompson & Duncan 1995, 1996

[5] F. Camilo et al. 2007

[7] ATNF Pulsar catalog

[9] Possenti et al. 2002

[11] Neutron Stars and Pulsars Werner Becker Editor

[12] McGill SGR/AXP Online Catalog

[2] Duncan & Thompson 1992

[4] N. Rea et al. 2010

[6] Lina Levin et al. 2010

[8] Enoto et al. 2010, 2011

[10] Becker & Trumper 1997