

公募研究：X線によるマグネターの研究

牧島一夫

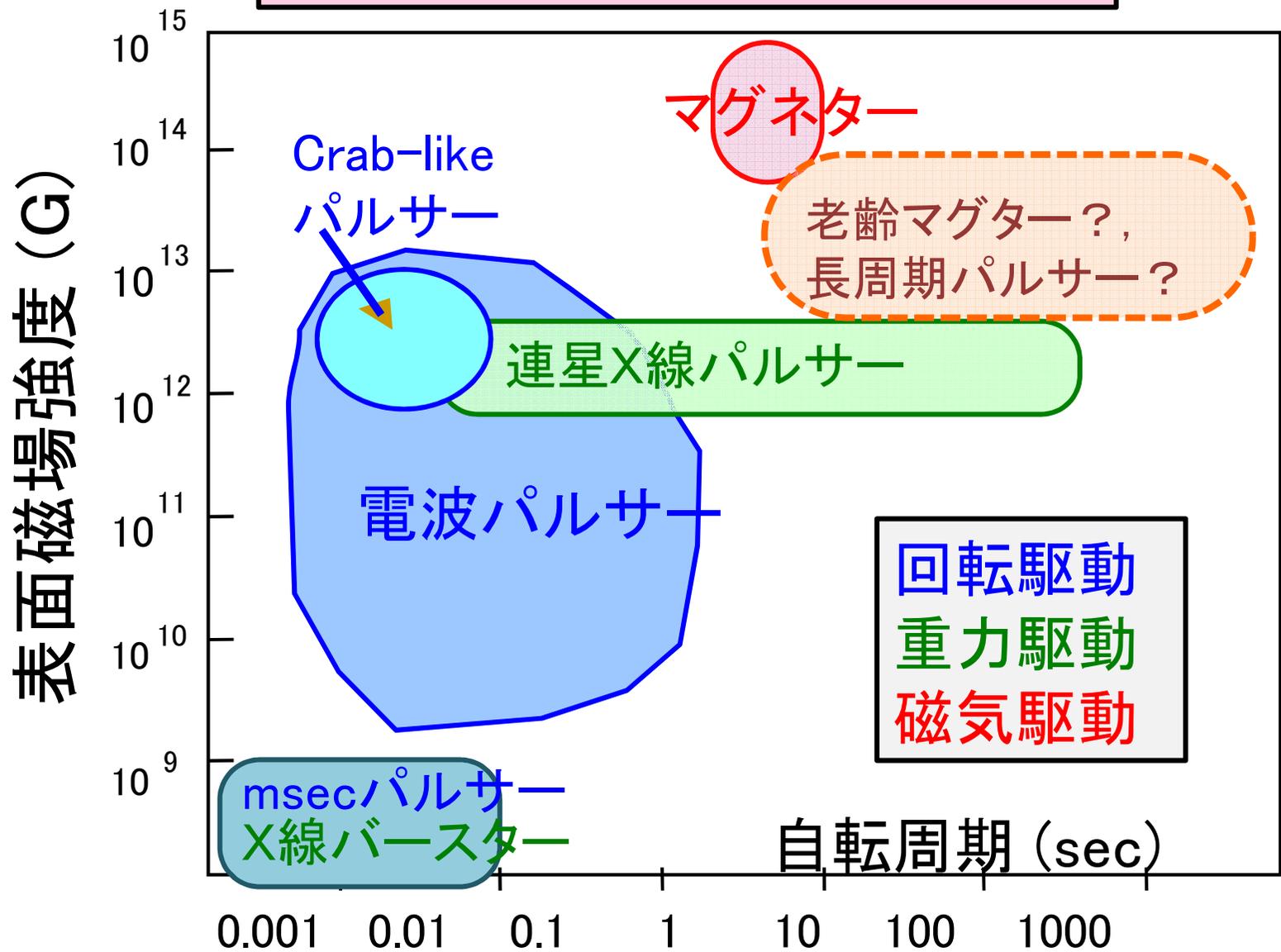
東京大学 理学系研究科（物理学専攻、
ビッグバン宇宙国際研究センター）

理研 宇宙観測実験連携研究グループ

NSの物理パラメータ

- ◇ 質量 M
 - ◇ 半径 R
 - ◇ 磁場 B (強度, 配置)
 - ◇ 自転周期 P
 - ◇ 温度 T (内部, 表面)
- 】 先天的: 原子核EOSを敏感かつ直接に反映
- 】 両方の側面をもち興味深い
- 】 後天的: 降着、放射など、外界との相互作用で大きく変化

NSの分類



マグネターとは

- ◇ 銀河系とマゼラン雲に～20個が知られている特殊なNSで、一部は超新星残骸 (SNR) を伴う。よって若い天体。毎年1～2個、新天体が出現している。
- ◇ 定常X線に加え、時おり激しいX線/ガンマ線のバーストを連射 (軟ガンマリピータ現象)。電波は極めて弱い。
- ◇ パルス(自転)周期は 2～11 秒に集中、高いスピンドown率をもつ。磁気双極子放射を仮定すると、双極子磁場は $B=10^{14-15}$ G となり、QED 臨界磁場 4×10^{13} G を超える。
- ◇ 観測されるX線光度 ≫ 自転エネルギーの放出率なので、回転駆動型ではない。単独NSなので重力駆動型でもない。
- ◇ 磁気エネルギーを解放して光る磁気駆動NSと考えられる。

問題意識

NSの磁場は、電磁石か永久磁石か？

◇通説：残存陽子の超流体渦糸が磁場を保持。

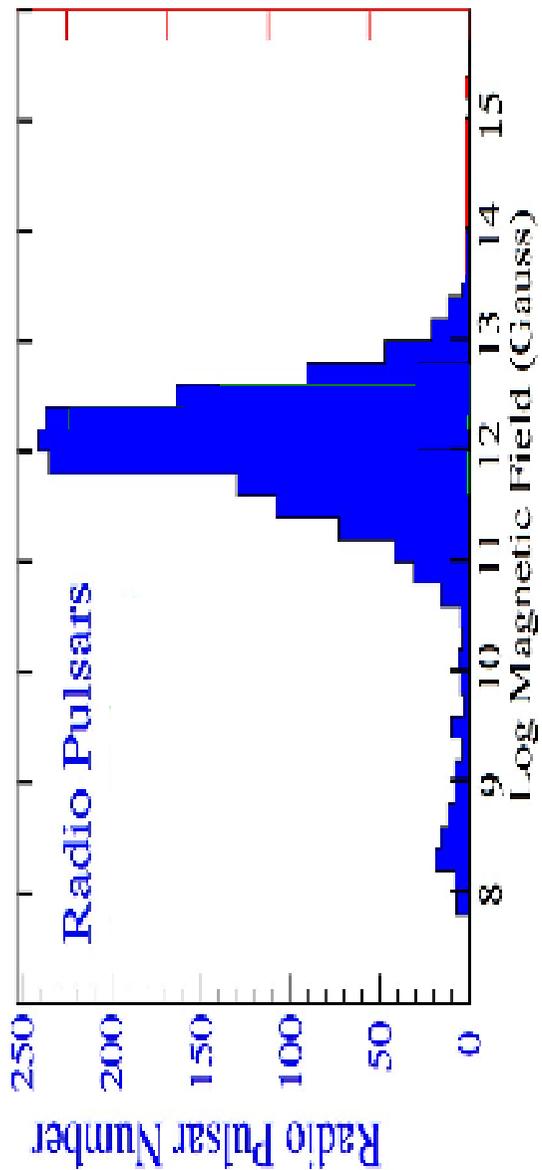
◇異説：中性子の磁気モーメント整列による核物質の強磁性（牧島+99；巽+06，橋本，初田+12）。

-NS全体が強磁性になれば、マグネターが十分に説明可能。

-強磁性相の体積は、磁区の対消滅などで、 $\sim 10^{12}$ Gまで減衰？このエネルギー解放がマグネターの放射を賄う？

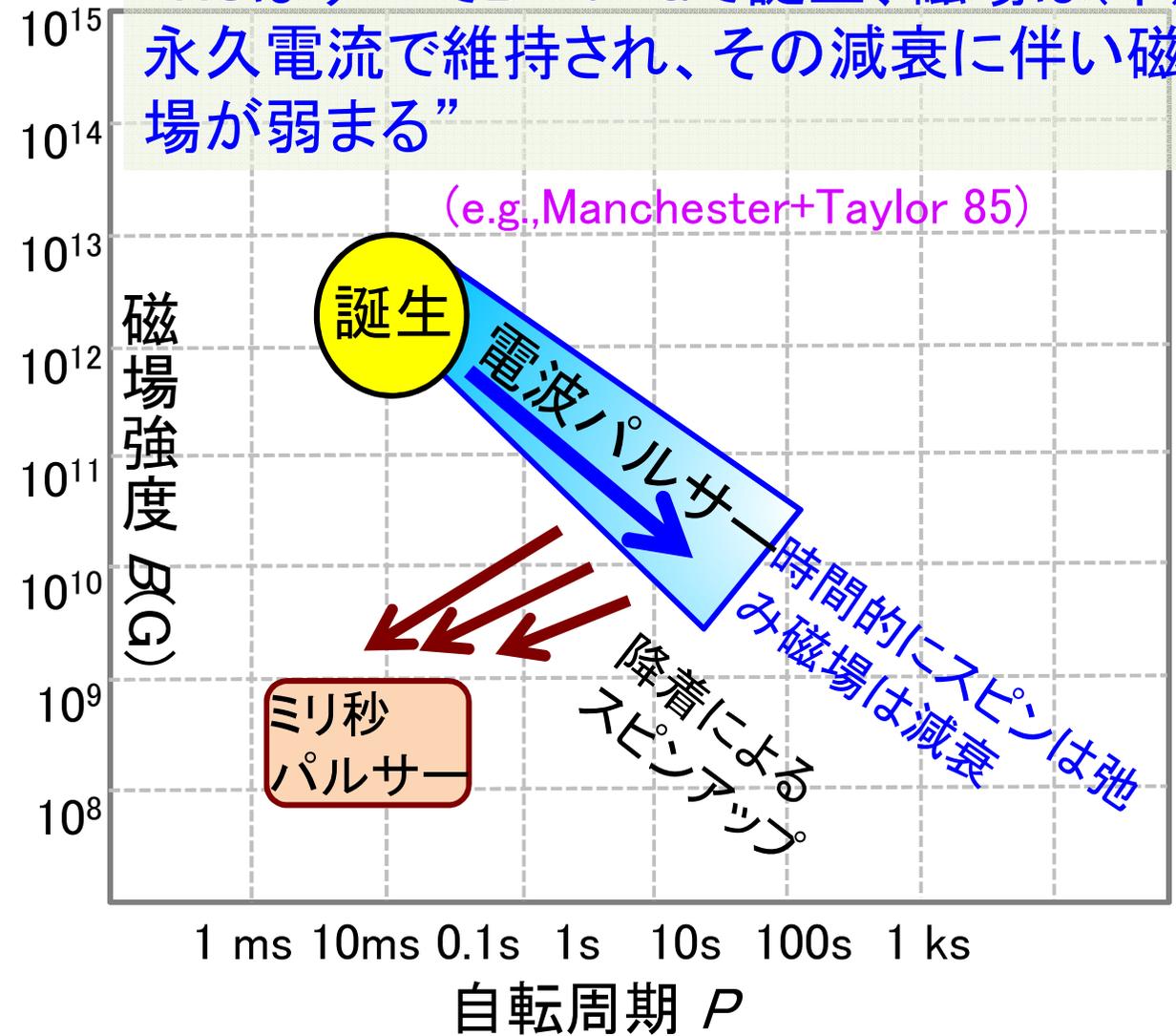
-弱磁場NSは、誕生時から、or 進化のどこかで相転移を起こし、全体が常磁性？

NSの磁場と自転周期の変化 : (1)1990年代



“NSはすべて $B \sim 10^{12} \text{G}$ で誕生、磁場は(半)永久電流で維持され、その減衰に伴い磁場が弱まる”

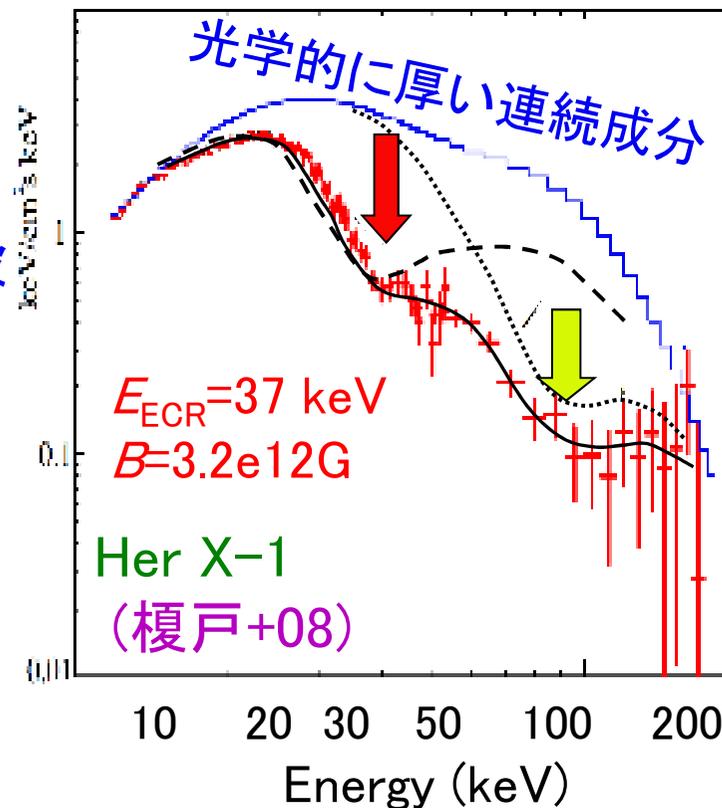
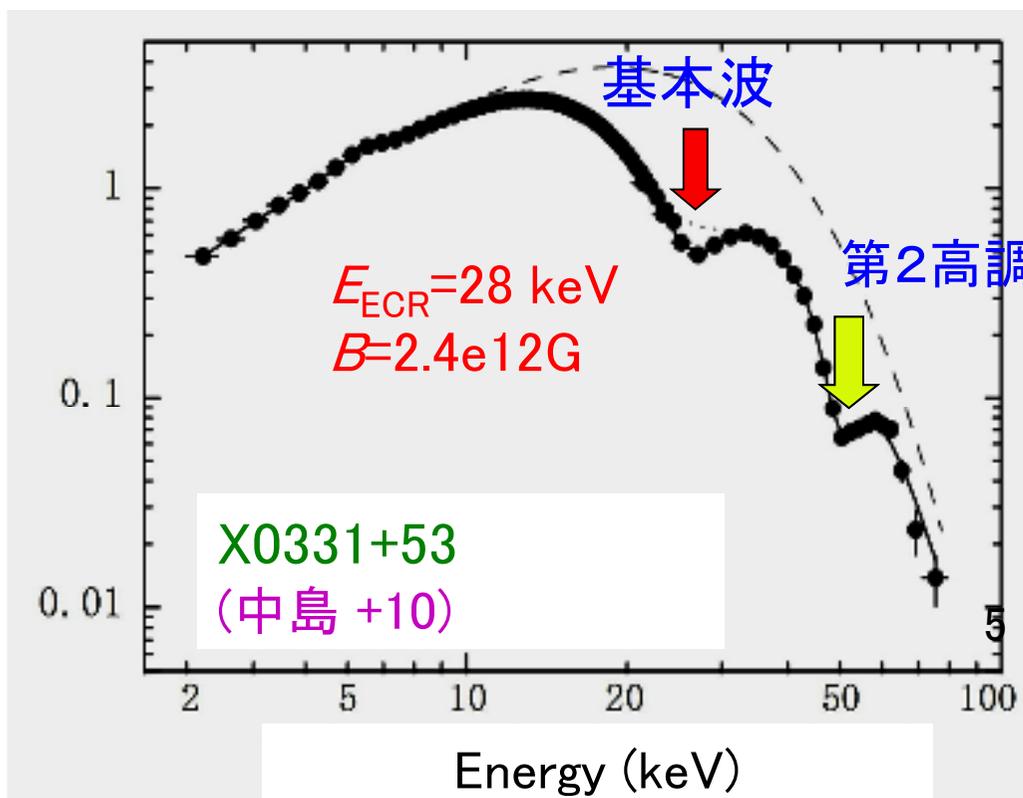
(e.g., Manchester+Taylor 85)



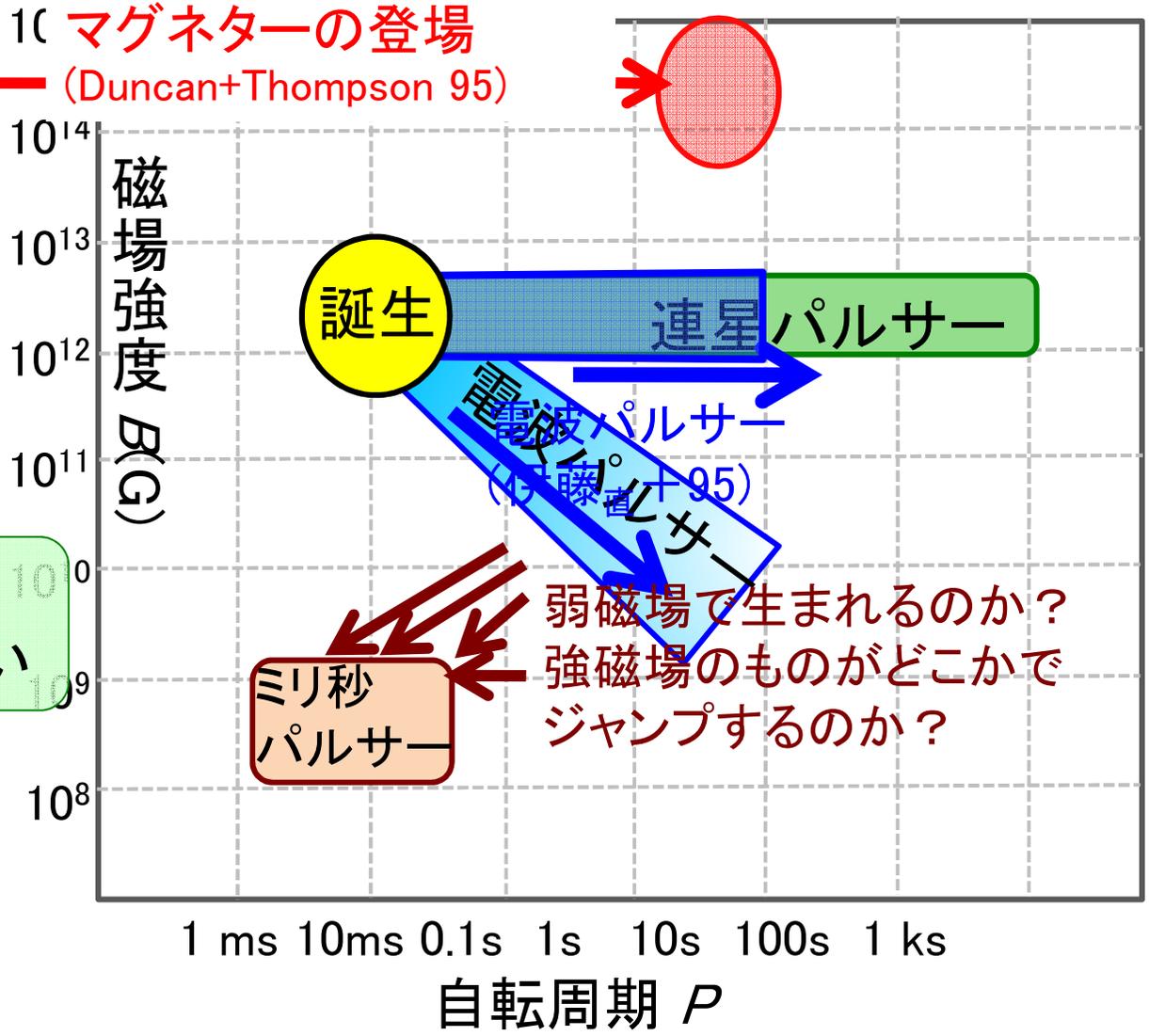
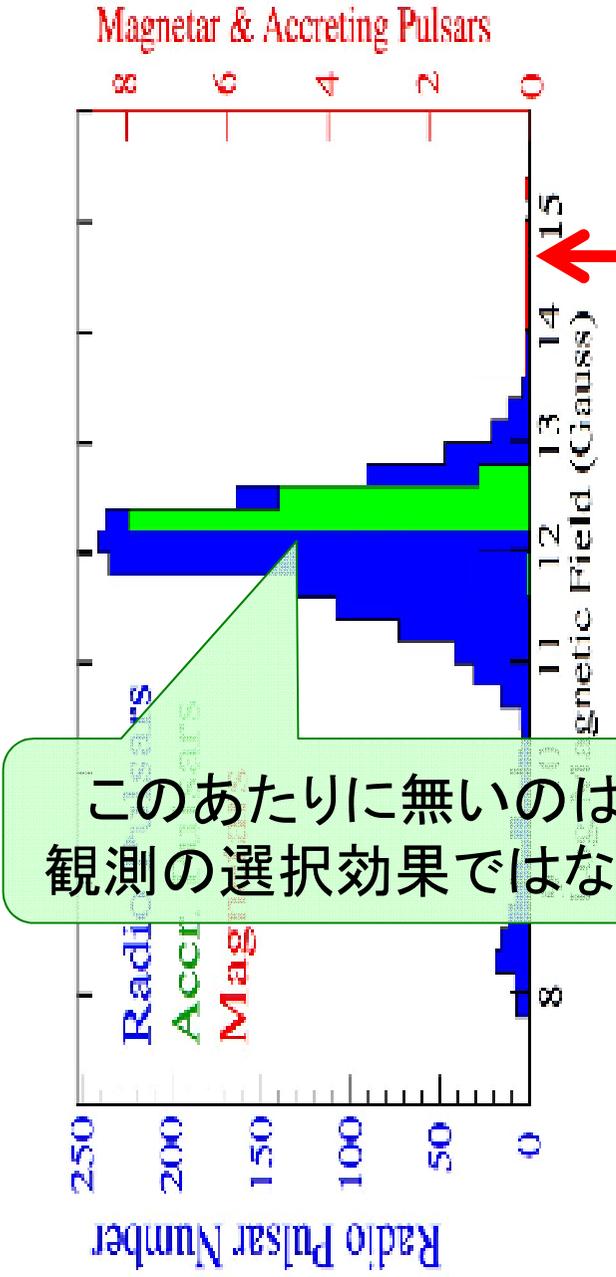
電子サイクロトロン共鳴(ECR)の利用

「ぎんが」衛星により、既知の連星X線パルサー~40個の約1/3で、スペクトル中にECR吸収線を検出、磁場測定に成功 (牧島+99)。

$$\text{共鳴エネルギー} = \frac{heB}{2\pi m_e} = 11.6 (B/10^{12}\text{G}) \text{ keV}$$

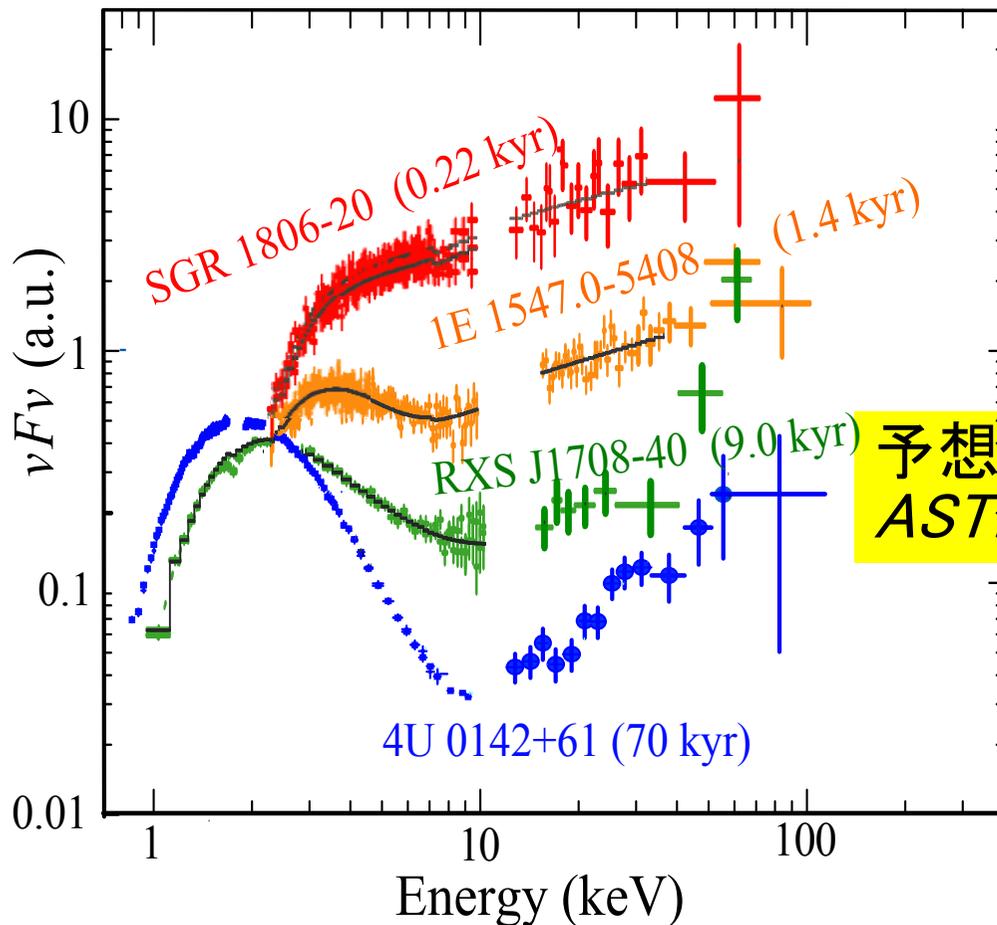


磁場と自転周期の進化(2): 1990年代後半の変革



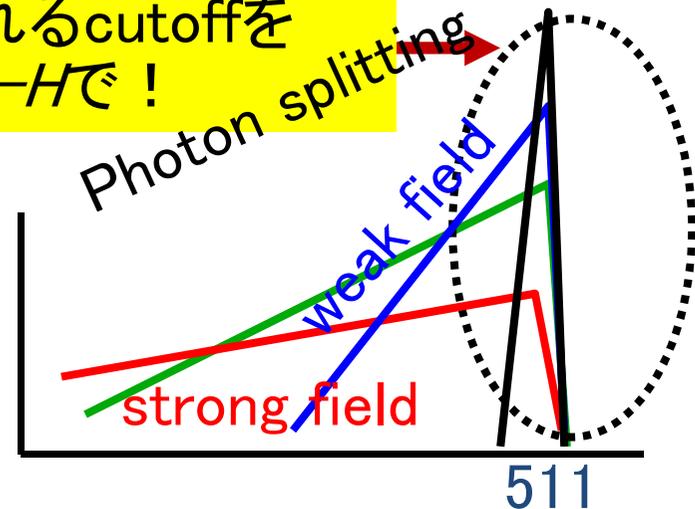
マグネターの奇妙な硬X線スペクトル

マグネター4個の「すぎく」による広帯域スペクトル (榎戸+10)



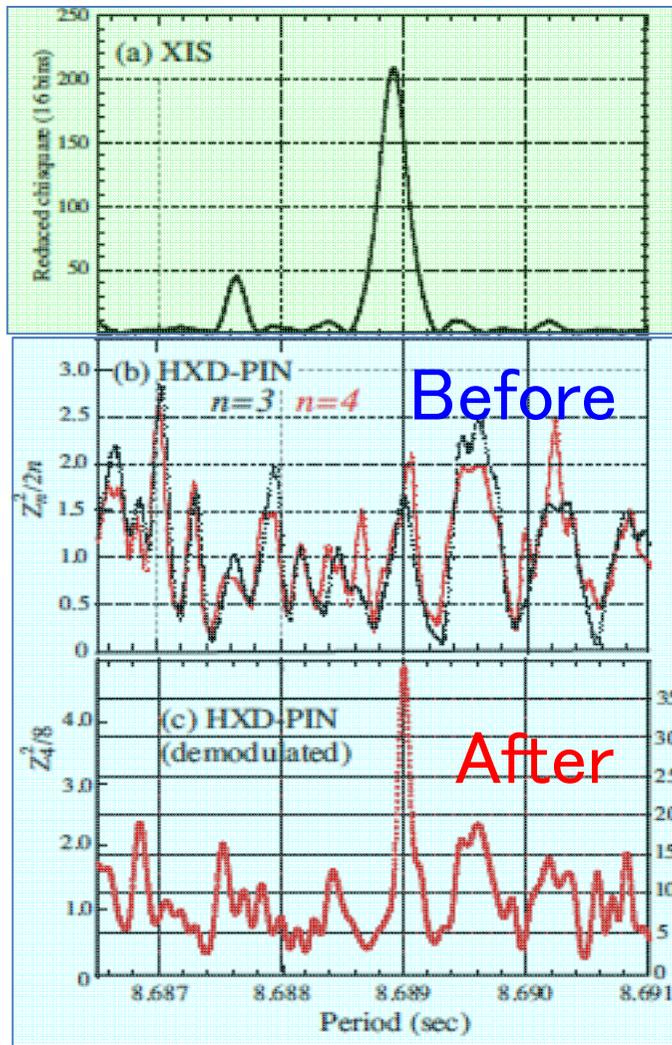
- ◇ 特徴的な2成分スペクトル。
- ◇ 年齢とともに硬X線は弱まるがスペクトルは硬くなる。
- ◇ 通常の加速過程では説明できないほど、硬い。
- ◇ 超強磁場中で 511 keV 光子が光子分裂を繰り返した結果か (榎戸+10)。

予想されるcutoffを
ASTRO-Hで!



マグネター4U 0142+61の自由歳差

《ピリオドグラム》

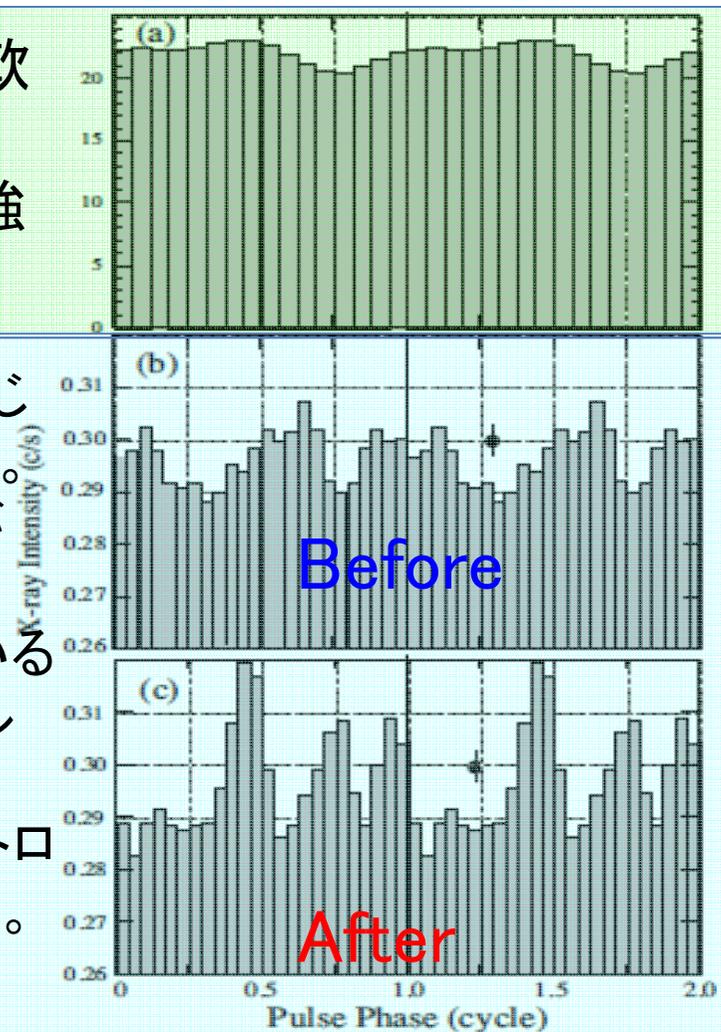


PRL 投稿直前

2009年の観測。軟X線パルスは、 $P=8.6889(1)$ sで強く検出。

硬X線パルスは同じ周期に検出されず。だがパルス位相が $P/1.6e-4 = 1.5h$ で $\pm 8\%$ 変調されていると仮定すると、パルス検出に成功。
 → $B \sim 1e16$ G のトロイダル磁場の証拠。

《折り畳んだ波形》



研究方法

S=「すざく」、M=MAXI、
H=ASTRO-H

1. マグネターが真に超強磁場をもつ証拠を強める

- 1a. 放射を ~ 600 keVまで検出、2光子分裂仮説を検証する。
- 1b. 自由歳差運動の検出例を増やし、トロイダル磁場を推定。

H

S H

2. マグネターの誕生環境と進化を探る

- 2a. マグネターに付随するSNRが特異性をもつか見分ける。
- 2b. マグネターの磁場減衰を定式化し、「新生NSの大半はマグネターである」(中野+11)可能性を追求する。
- 2c. 銀河面に、暗い老齡マグネターを探查する。

H

S H

S H

3. マグネターの関連天体に関する知見を増やす

- 3a. 新発見パルサーや既知の天体で、ECRの検出例を増やす。
- 3b. 準マグネター天体として、 $B \sim 10^{13}$ GのNSを探查する。
超長周期パルサーなどが候補。60 \sim 150 keVでのECR探查に加え、Fe輝線のDoppler偏移からAlfven半径を推定する。
- 3c. LS 5039など、ガンマ線連星でパルスを探查する。

M S H

M S H

S H