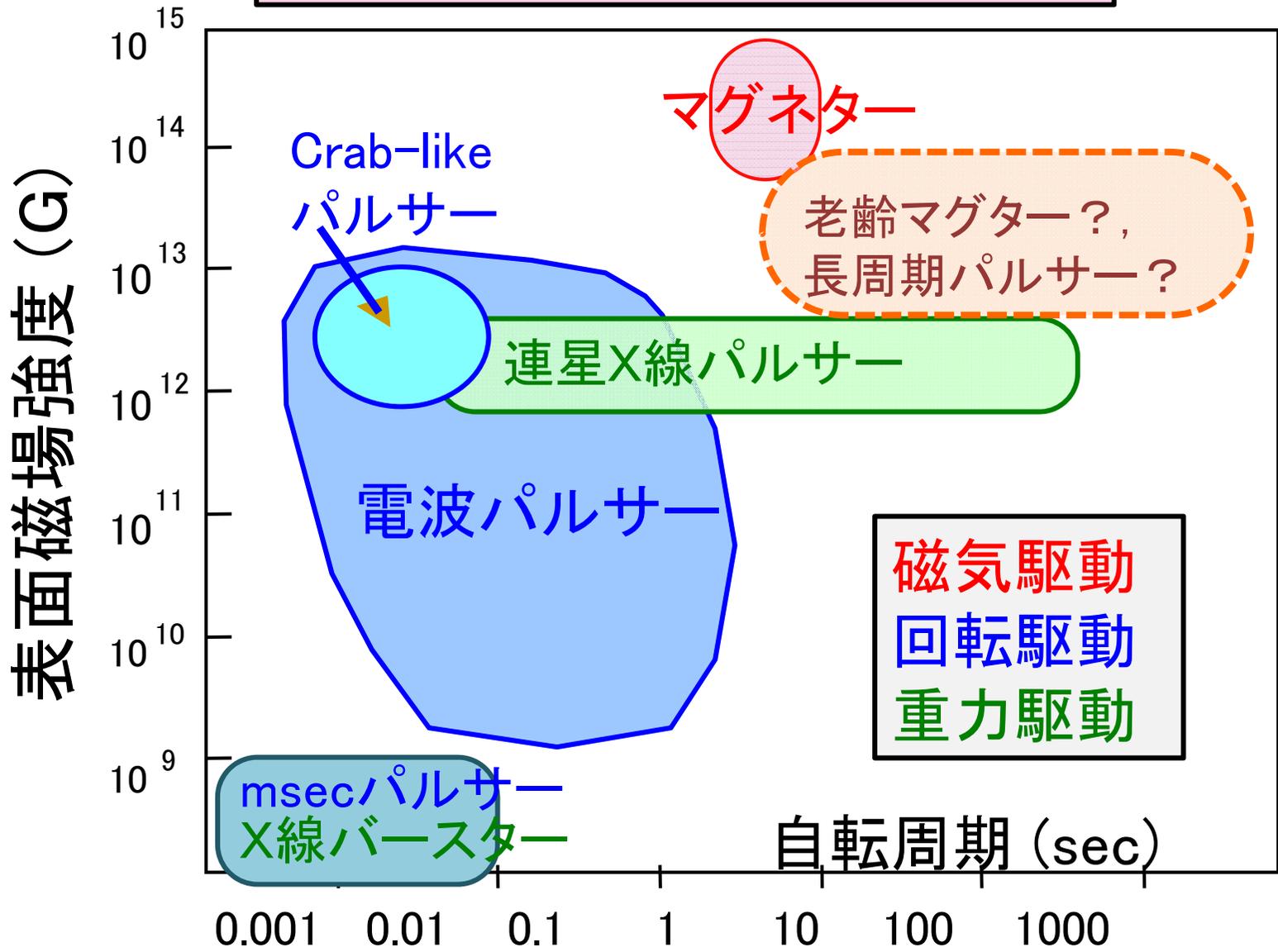


# X線観測から中性子星に迫る ～宇宙X線50年の歴史を絡めて～

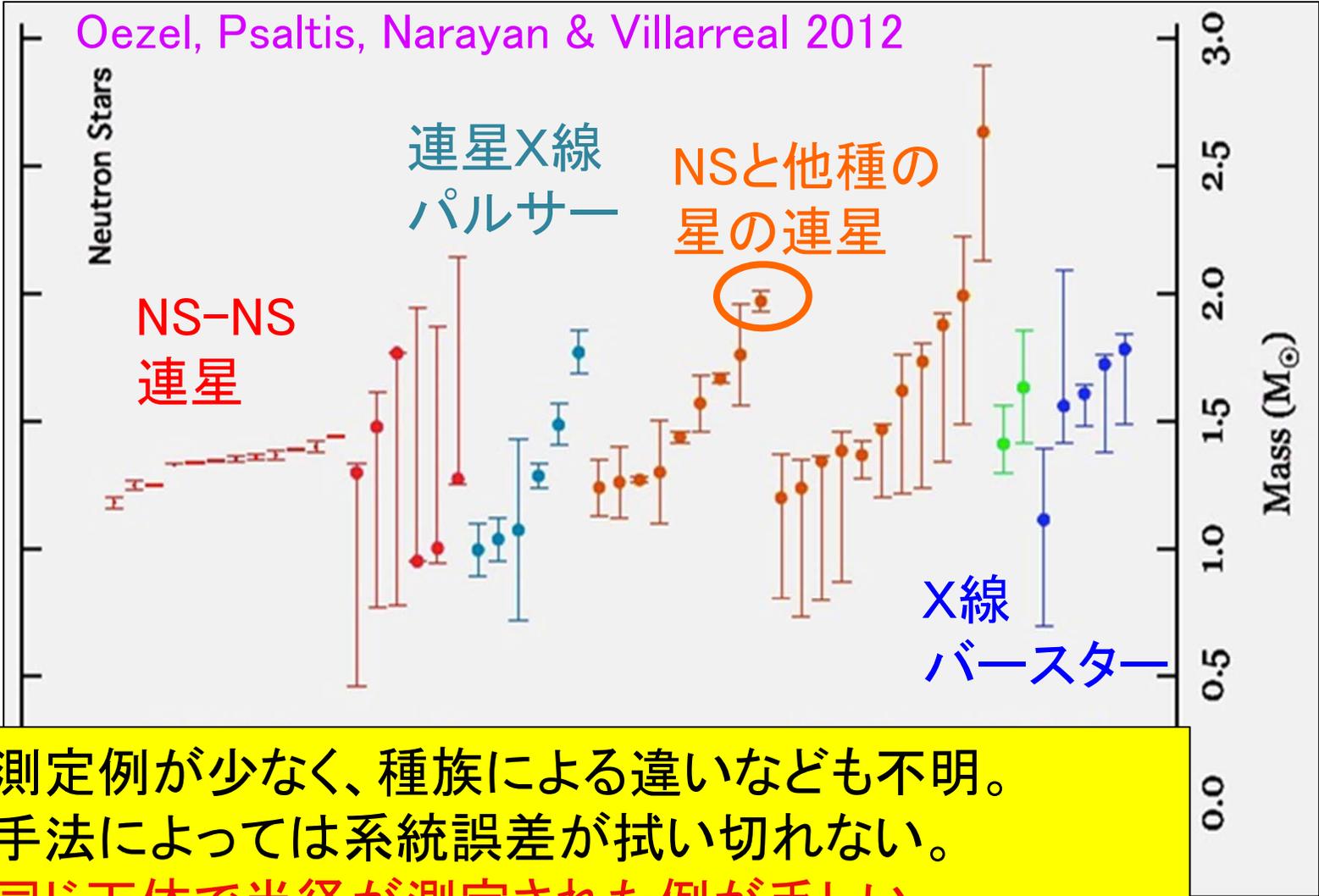
牧島一夫

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の分類

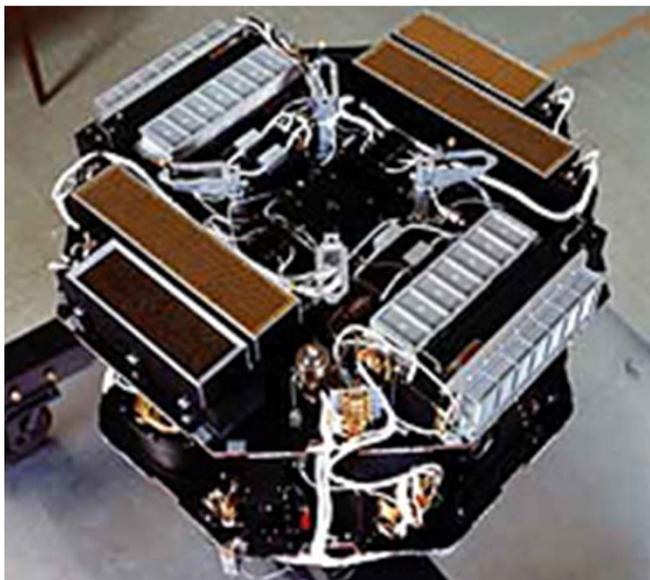


# NS質量の測定結果



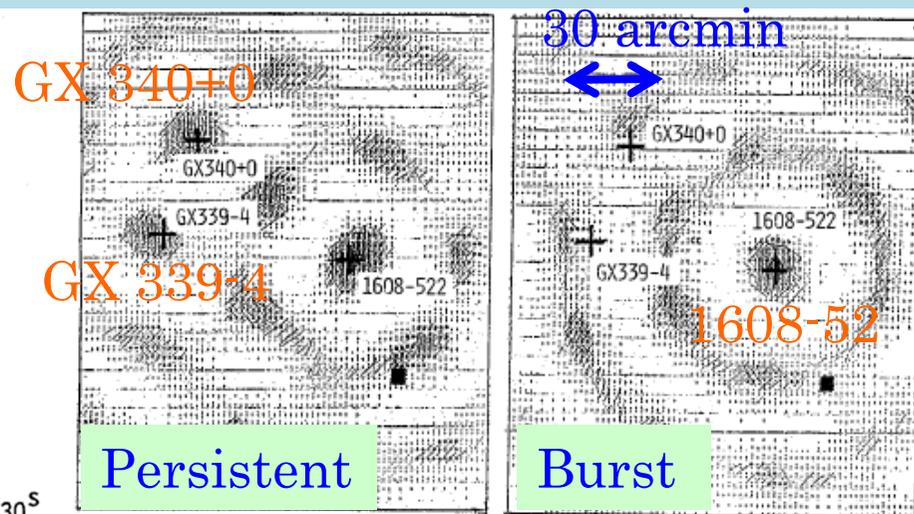
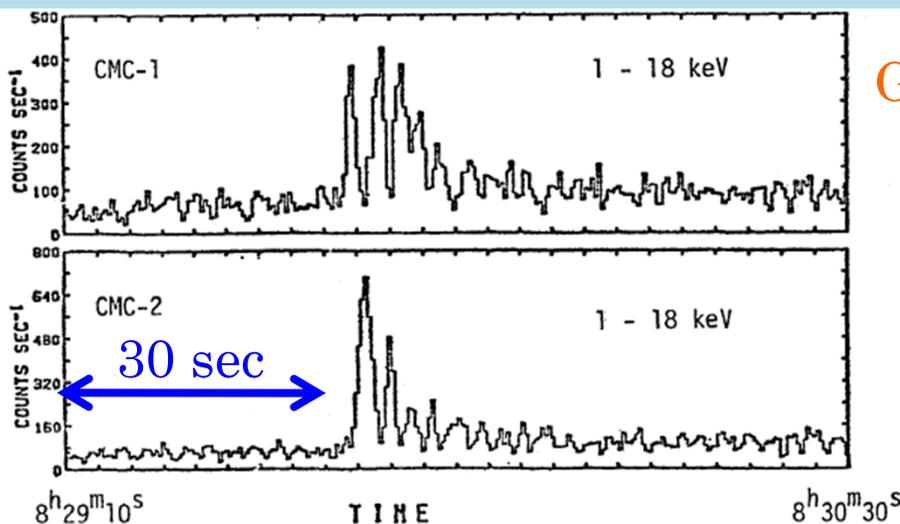
- ・測定例が少なく、種族による違いなども不明。
- ・手法によっては系統誤差が拭い切れない。
- ・同じ天体で半径が測定された例が乏しい。

# 初代「はくちょう」、1979年打上げ

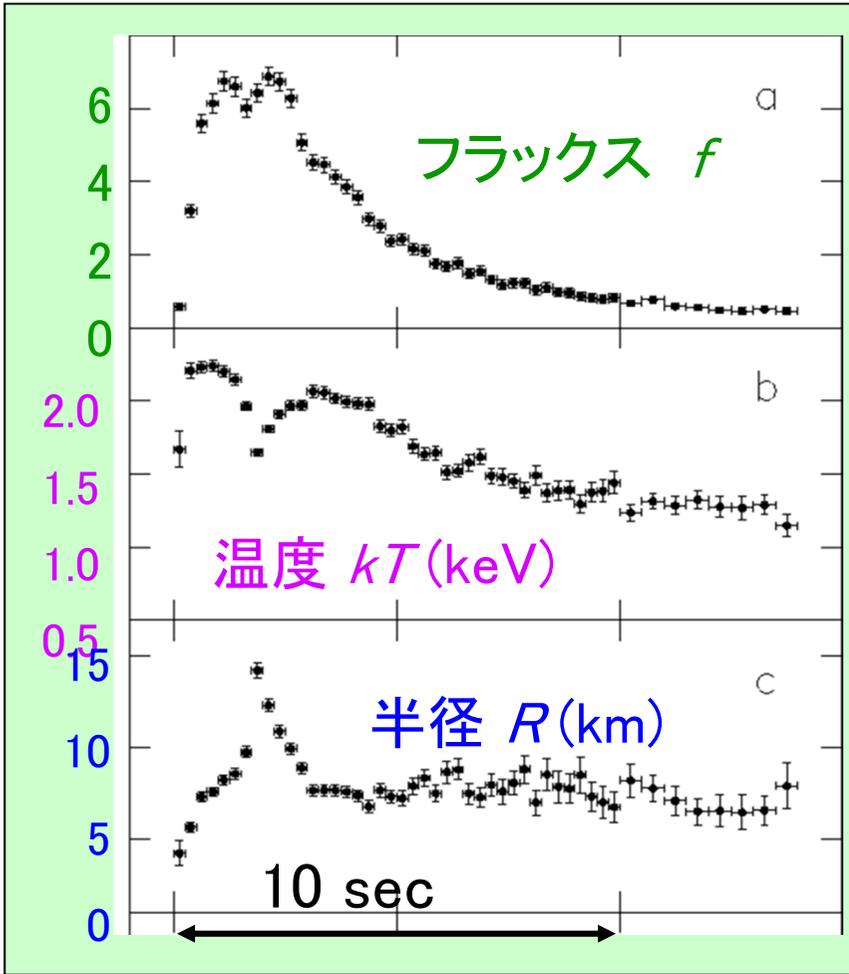


- ◇X線バースト(質量降着する弱磁場NS表面での爆発的核融合)の観測。
- ◇NS 半径  $\sim 10$  kmの検証に成功。
- ◇Eddington限界  $\rightarrow$  銀河中心の距離は  $< 10$  kpc のはず (Inoue+81)。

## 「はくちょう」が受けた最初のX線バースト (4U 1608-52)



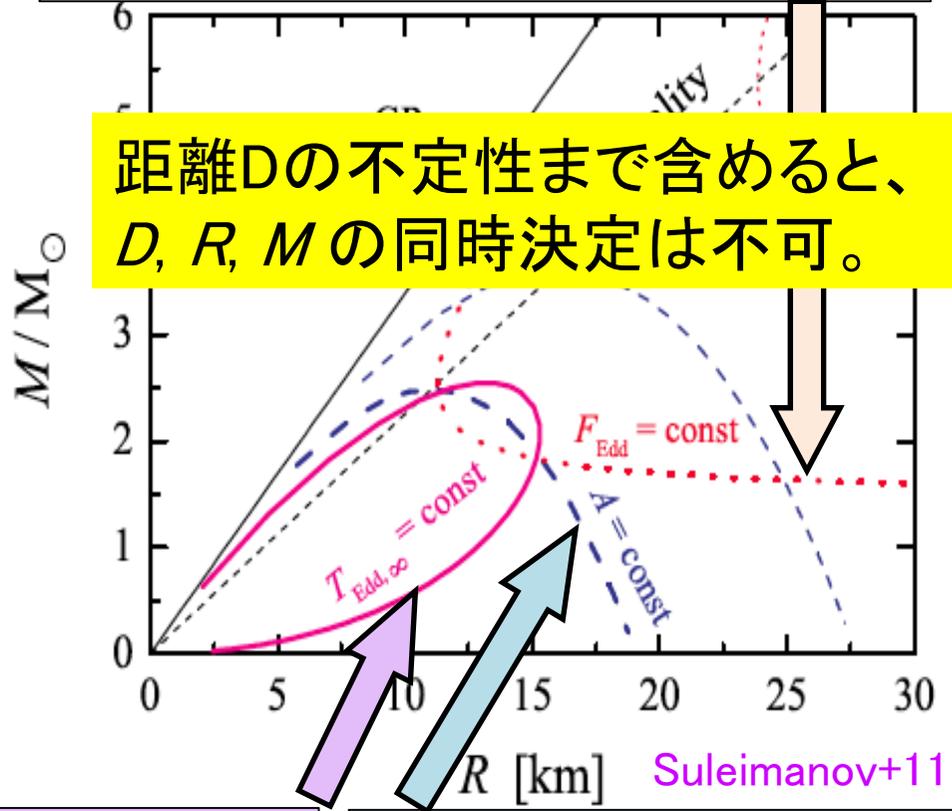
# X線バーストのX線分光



Kuulkers & van der Klis (2000)

観測されたバーストpeak flux が Eddington限界に一致 ( $f \propto M/D^2$ )

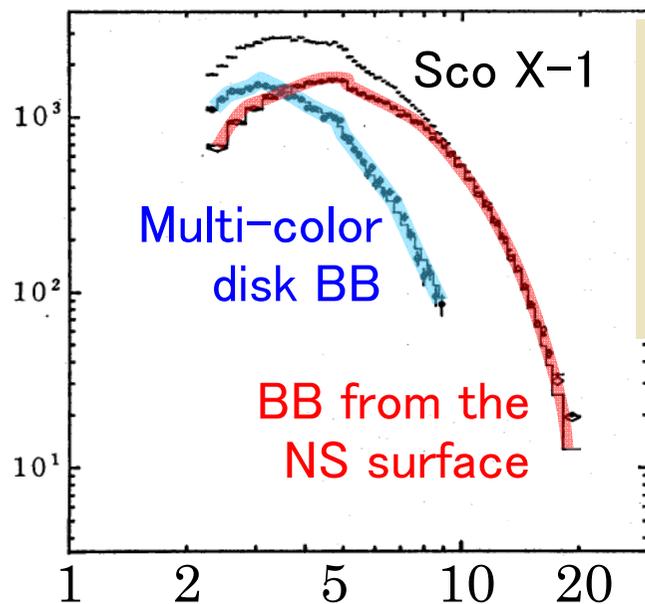
距離Dの不定性まで含めると、 $D, R, M$ の同時決定は不可。



観測された温度がEdd. Tempに一致 ( $R^2 T^4 \propto M$ )

Stefan=Boltzmann則から求めた  $R$  ( $R^2 T^4 \propto f D^2$ )

# 第2代「てんま」, 1983年打上げ

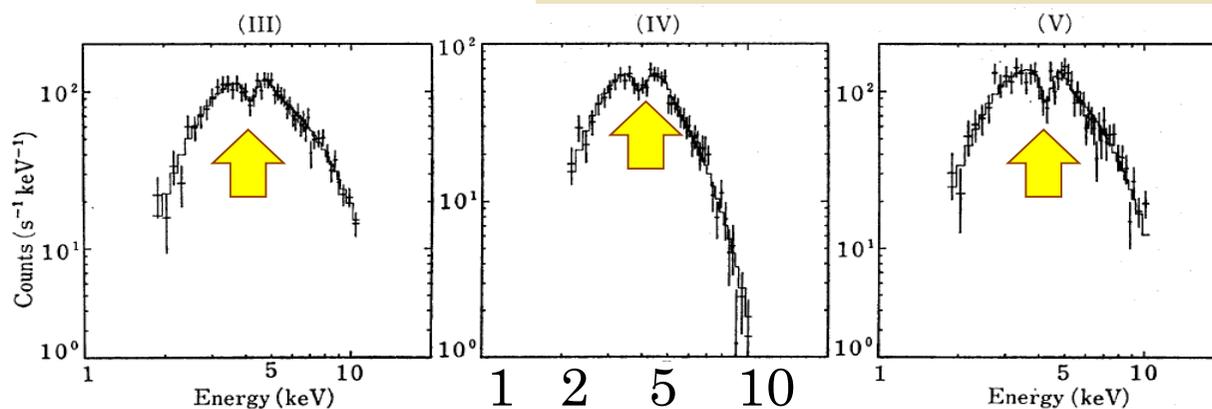


X線バースト源の定常放射で、標準降着円盤 (Shakura & Sunyaev 73) の描像を初めて実験的に検証 (Mitsuda+84; Makishima+86, +89)

数例のX線バーストのスペクトルに4.1 keVの吸収線。重力redshiftしたFe-K線→

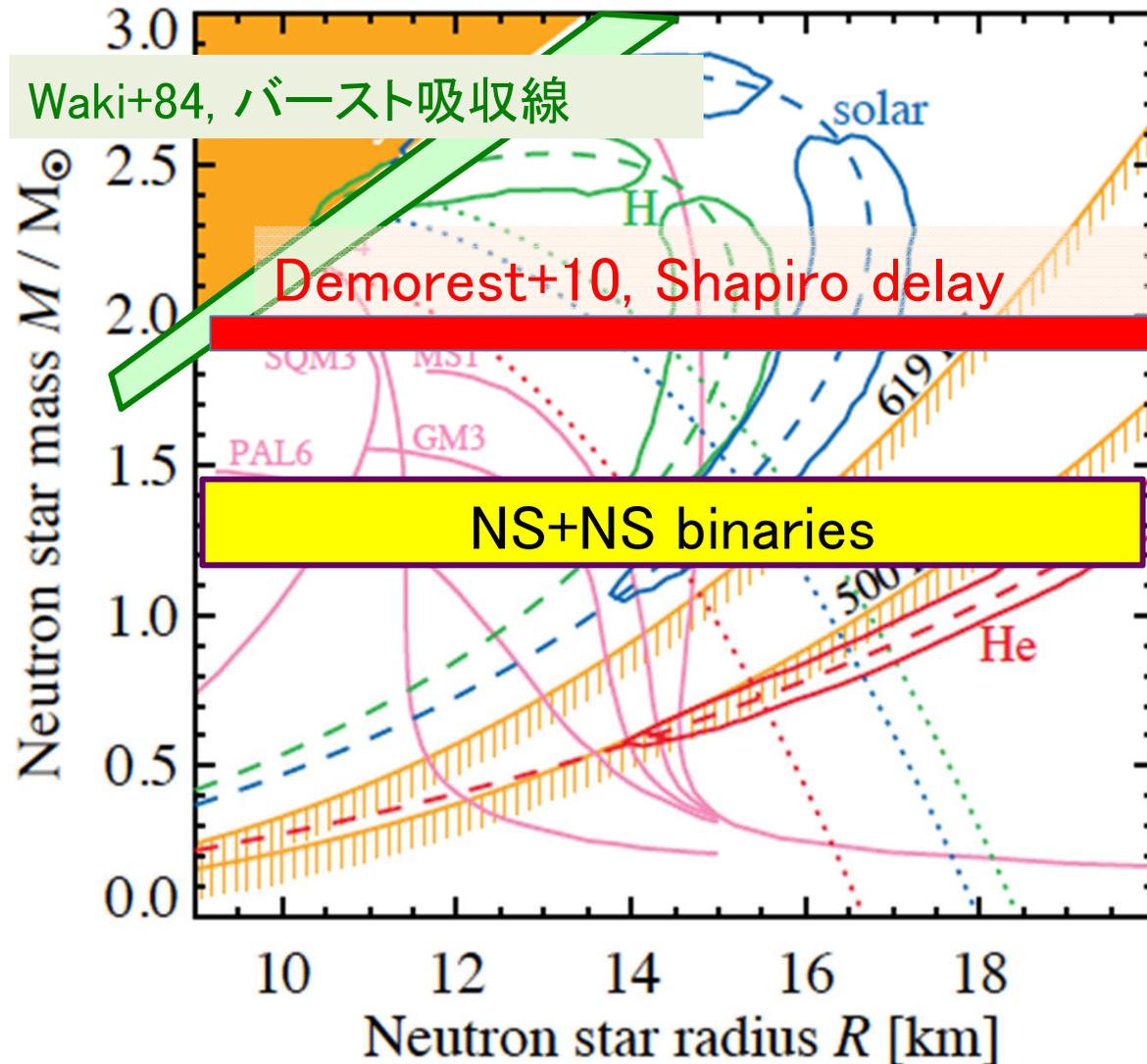
$$R_{NS}/R_s = 1.6 \text{ (Waki+84)}$$

Prof.田中靖郎



# NSの質量と半径の制限

Suleimanov+11, bursts from 4U 1724-307



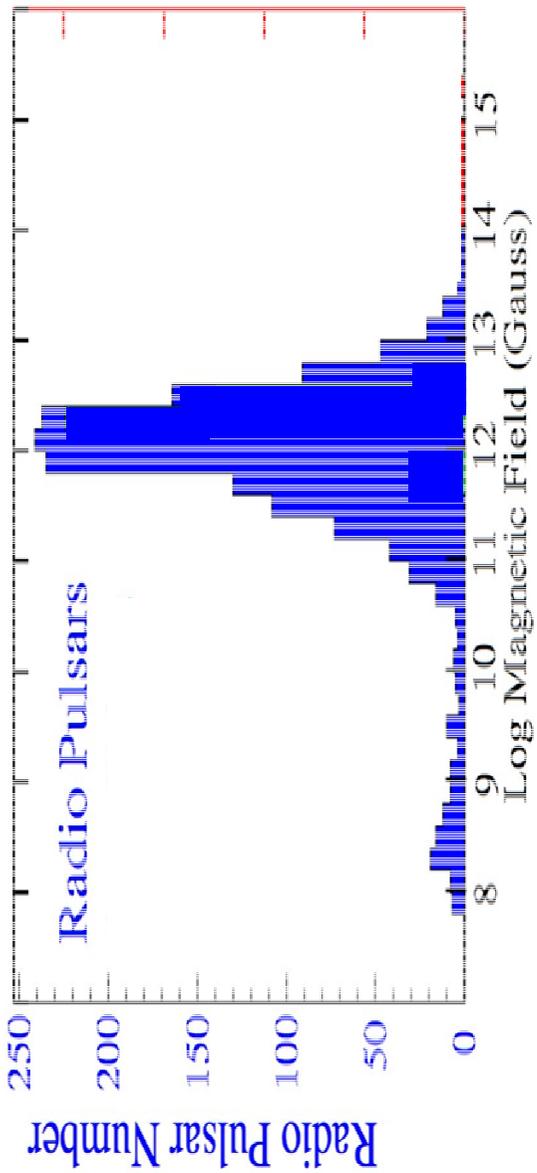
$M$ - $R$  測定 の 現状 :

- ◇ データは増えつつあるが結果は混沌。
- ◇ 同一NSに対し( $M$ ,  $R$ ) 面上で独立な2情報が得られた例が、少ない。
- ◇ さまざまな系統誤差が、詰め切れていない。

*ASTRO-H*:

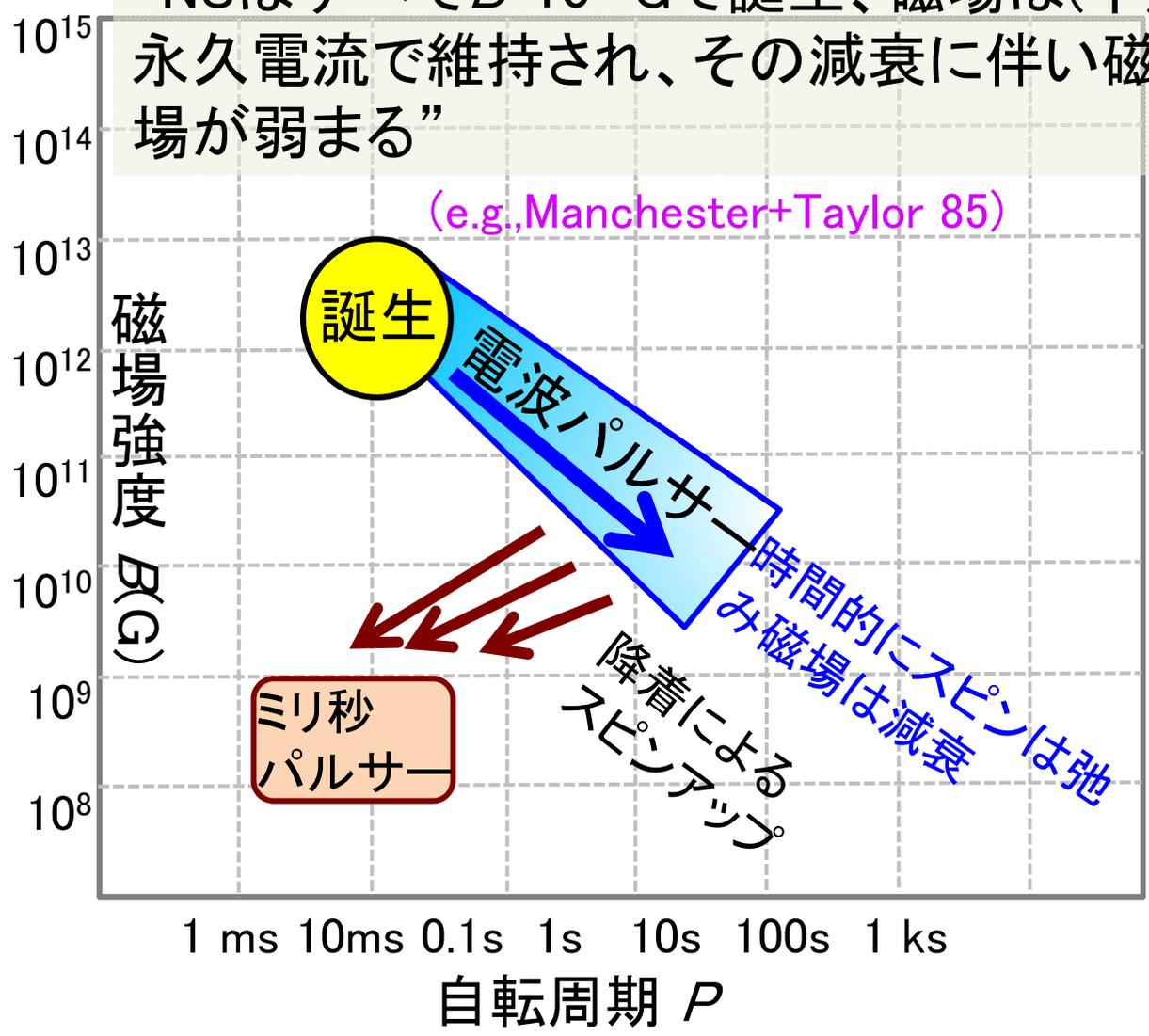
広帯域でのバースト分光、高精度X線分光計による吸収線の探査、弱磁場NS連星の微弱なパルス探査からの質量推定、etc.

# 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”

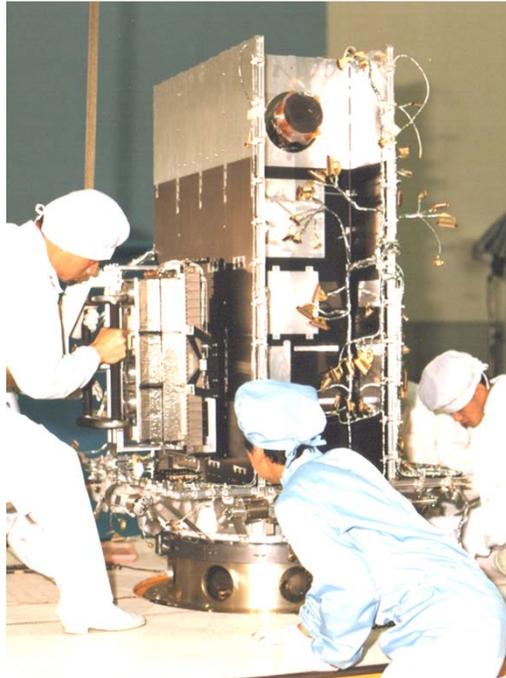
(e.g., Manchester+Taylor 85)



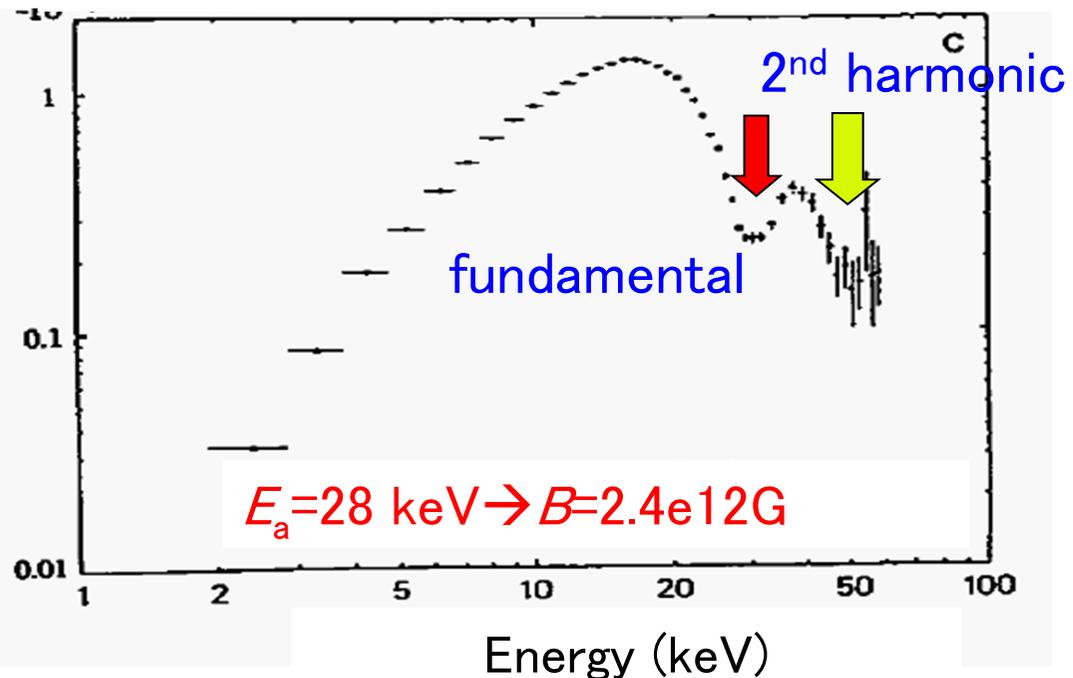
# 第3代「ぎんが」、1987年打ち上げ

- ◇  $M-R$  関係と並び、磁性は、NS核物質の性質の重要な発現。
- ◇ 約10個のX線パルサーから電子サイクロトロン共鳴構造を検出。  
 $E_a = 11.6 B_{12} \text{ keV}$  として磁場が精密に決定できる。
- ◇ 測定結果は  $B = (1-5) \times 10^{12} \text{ G}$  に集中(Makishima+99)。

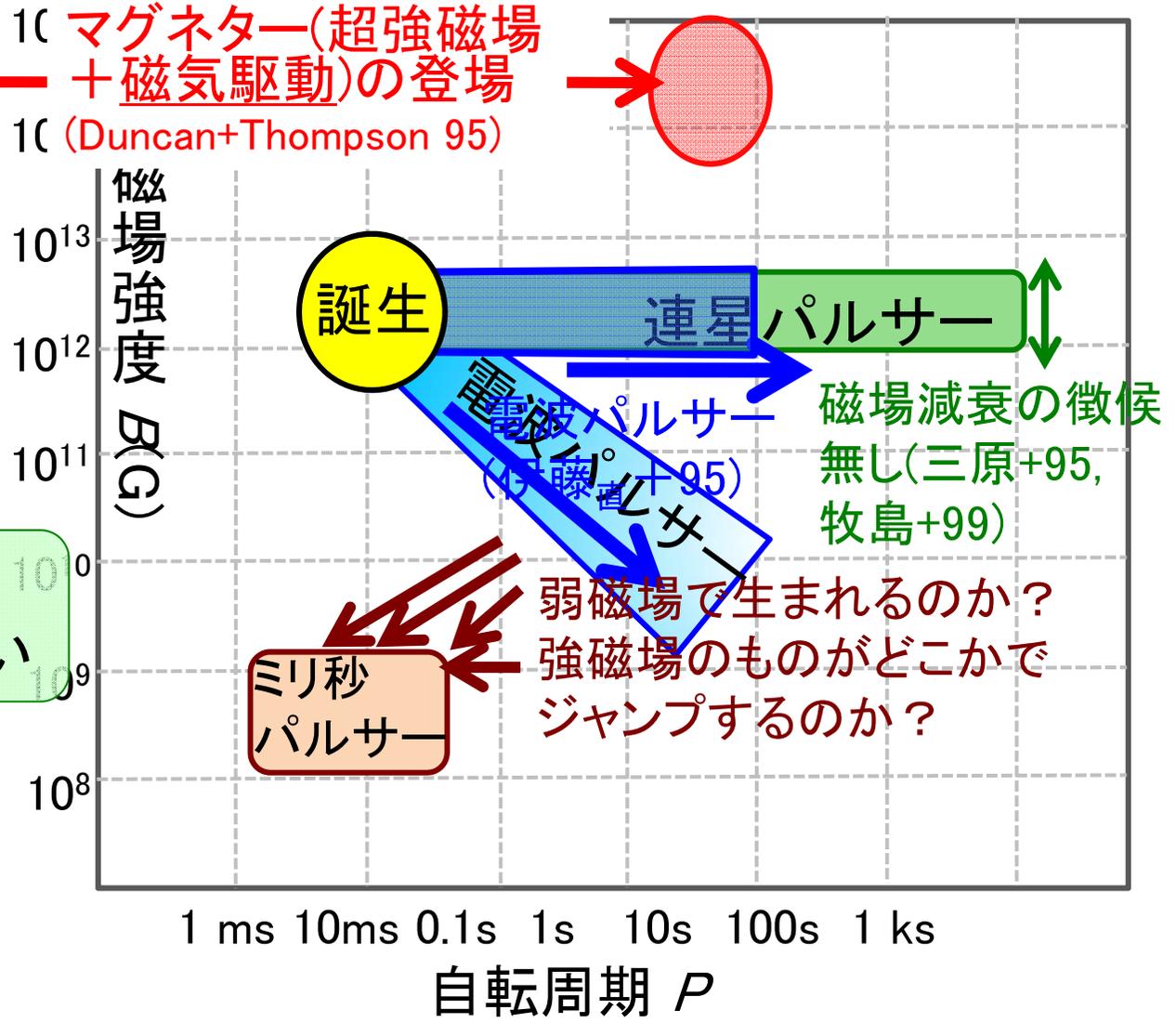
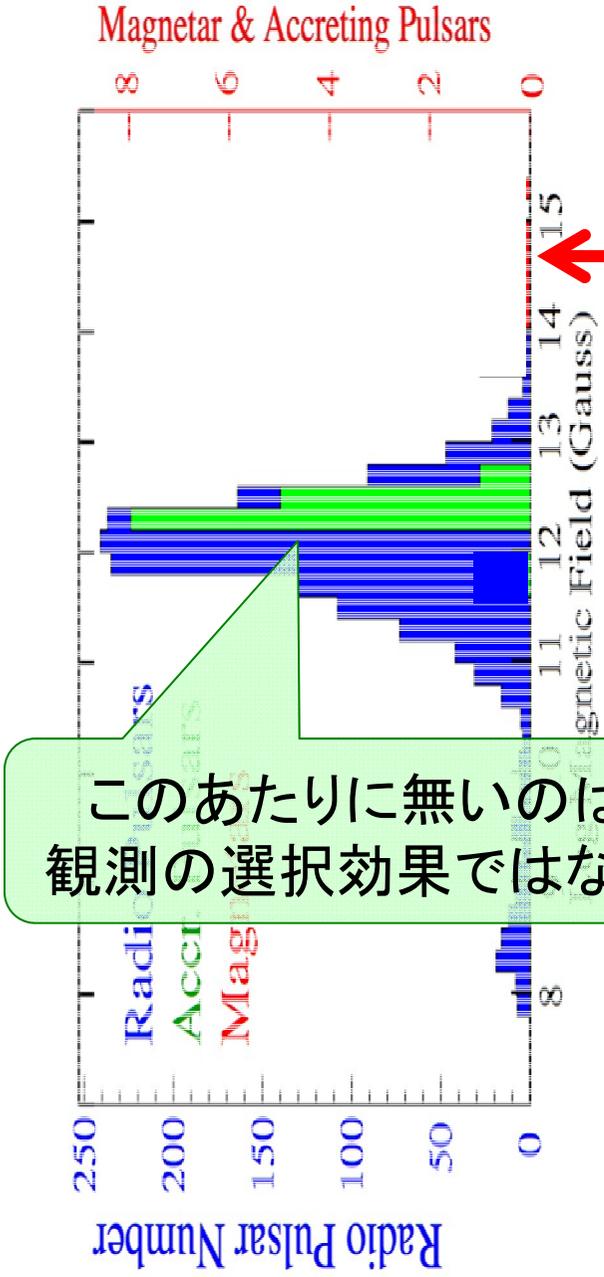
LAC (UK-Japan)



X0331+53, Crab比 (Makishima+91)



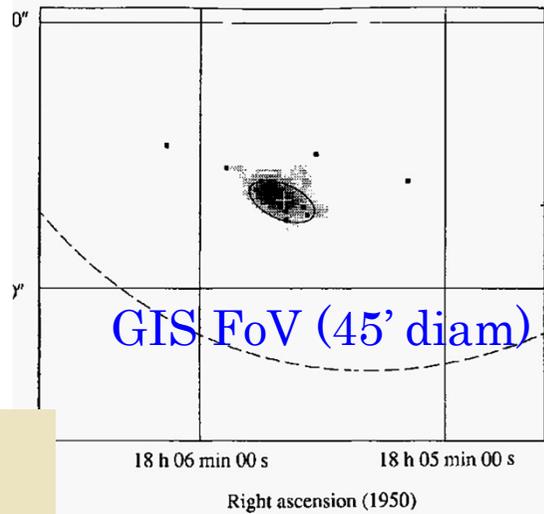
# 磁場と自転周期の進化(2): 1990年代後半の変革



# 第4代「あすか」、1993年打上げ



GISガスセルを封じ切る  
大橋さん(現・首都大教授)

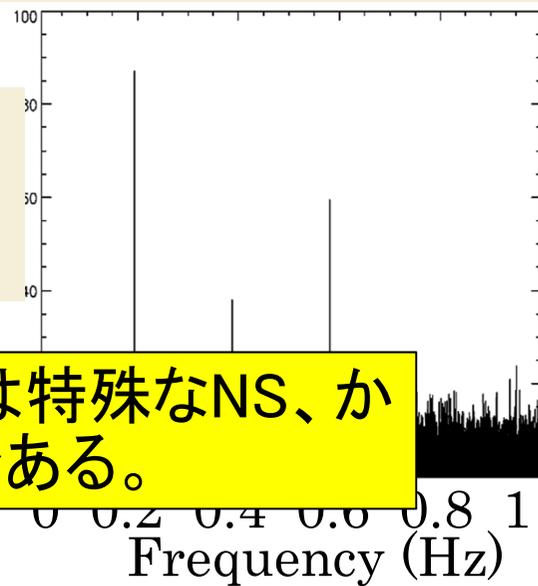


幸運にも軟ガンマ線リピーターSGR1806-20がGISの視野内バースト、光子10個を検出、その位置に定常X線を発見 (Murakami+94)。のちGISで7.5秒のパルス発見 (Kouveliotou+98)。



GISセンサーを試験する  
池辺さん(現・科学未来館)

SGR 1900+20からはGISにより、5.2秒のパルス検出 (Hurley+94)。

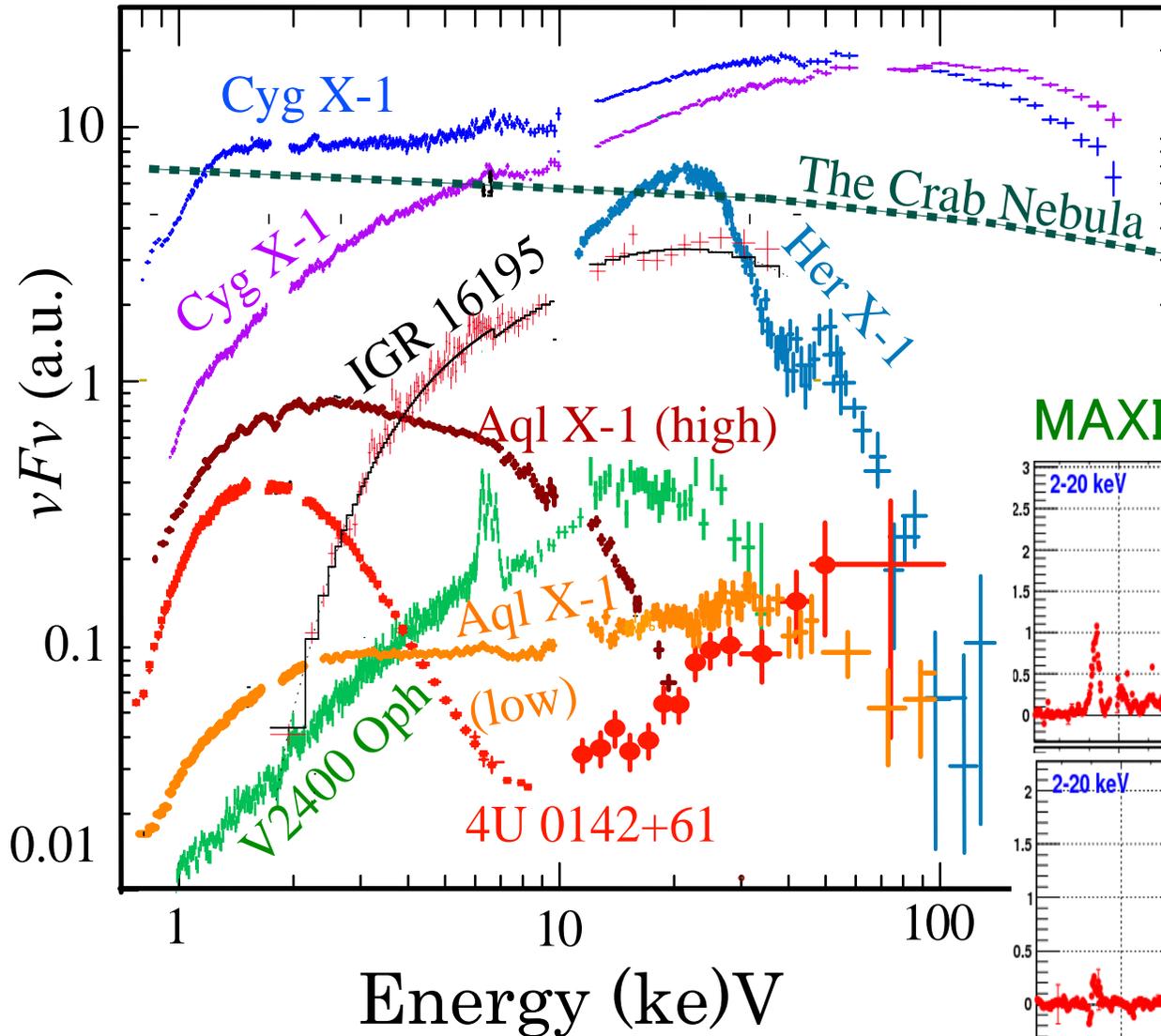


軟ガンマ線リピーターは特殊なNS、かつマグネターの一種である。

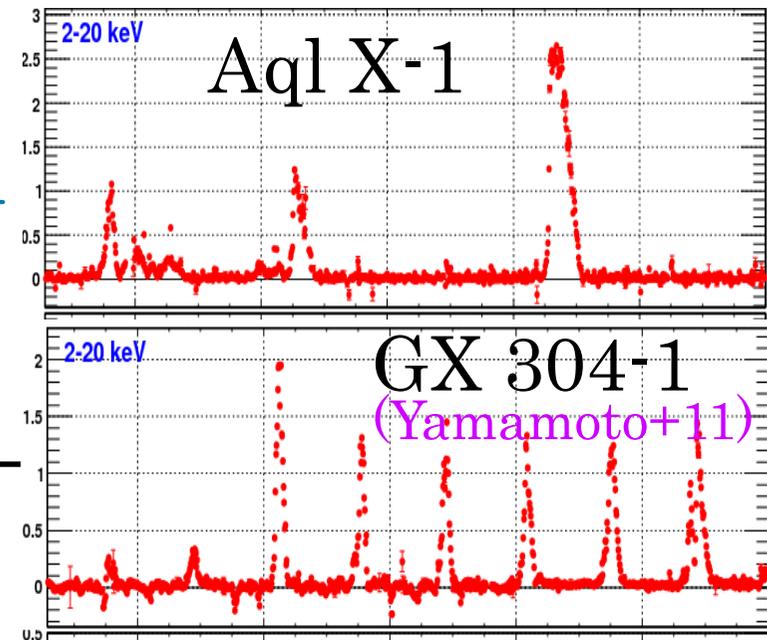
# 5代目「すざく」(2005)、MAXI (2009)

銀河系内コンパクトX線源の「すざく」スペクトル

The HXD Team

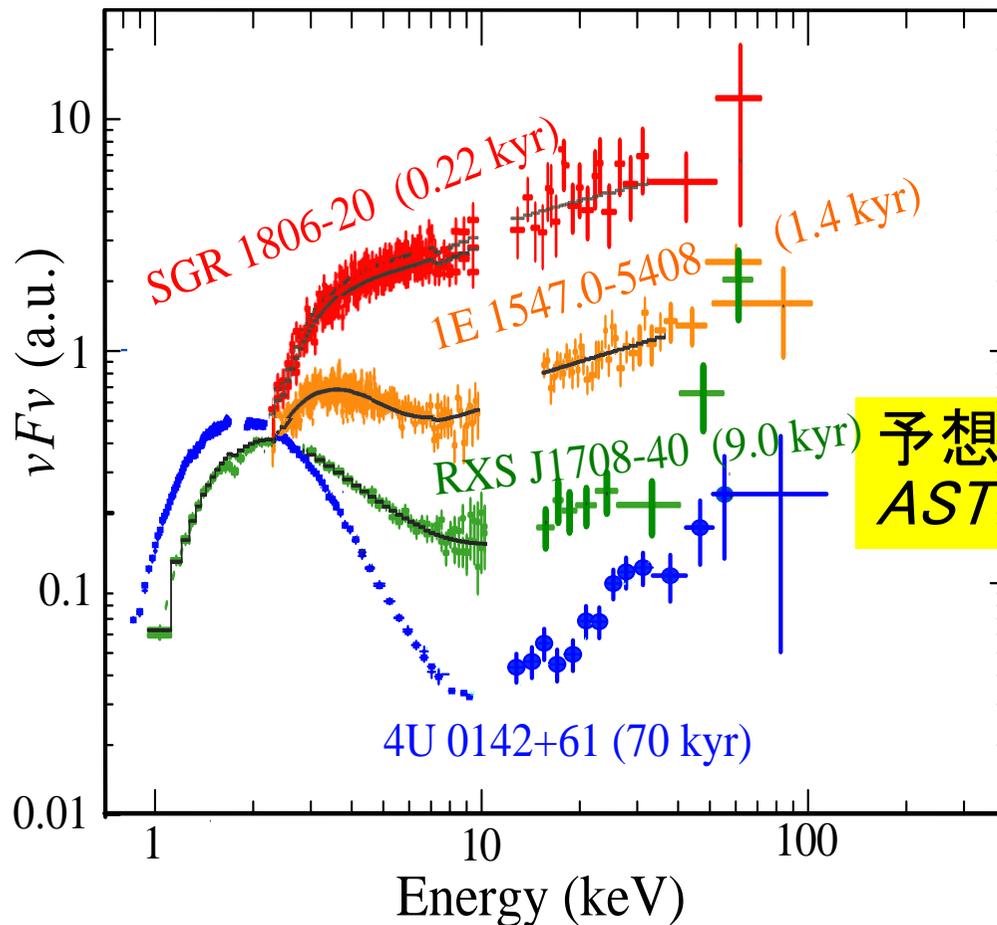


MAXI 光度曲線 (3年間)



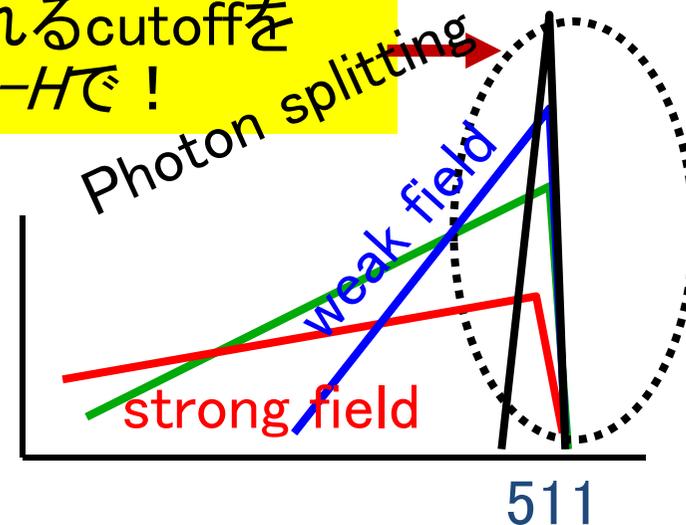
# マグネターの奇妙な硬X線スペクトル

マグネター4個の「すぎく」による広帯域スペクトル (Enoto+10)



予想されるcutoffを  
ASTRO-Hで!

- ◇ 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 (Enoto+10)。



## NSの磁性に関する私見

- ◇ NSの磁性は、中性子の磁気モーメント整列による核物質の強磁性か (Makishima+99; Tatsumi+06, Hashimoto+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、磁区対消滅などで $\sim 10^{12}$  Gまで減衰？
    - 弱磁場NSは全体が常磁性？
  - ◇ マグネターの年齢は過大評価されていた(Nakano+11)。  
実はII型超新星では、 $B \sim 10^{12}$  GのNSよりも、マグネターが多く誕生し、短時間で磁場が減衰して見えなくなる？
  - ◇ 銀河面には大量の老齡マグネターが潜む可能性あり。
  - ◇ ある種のX線源(長周期パルサー、Supergiant Fast X-ray Transients, LS 5039 etc.)はマグネターを含む連星か。
- いずれもASTRO-Hで！