

マグネターからの X線アウトバーストの観測とその起源

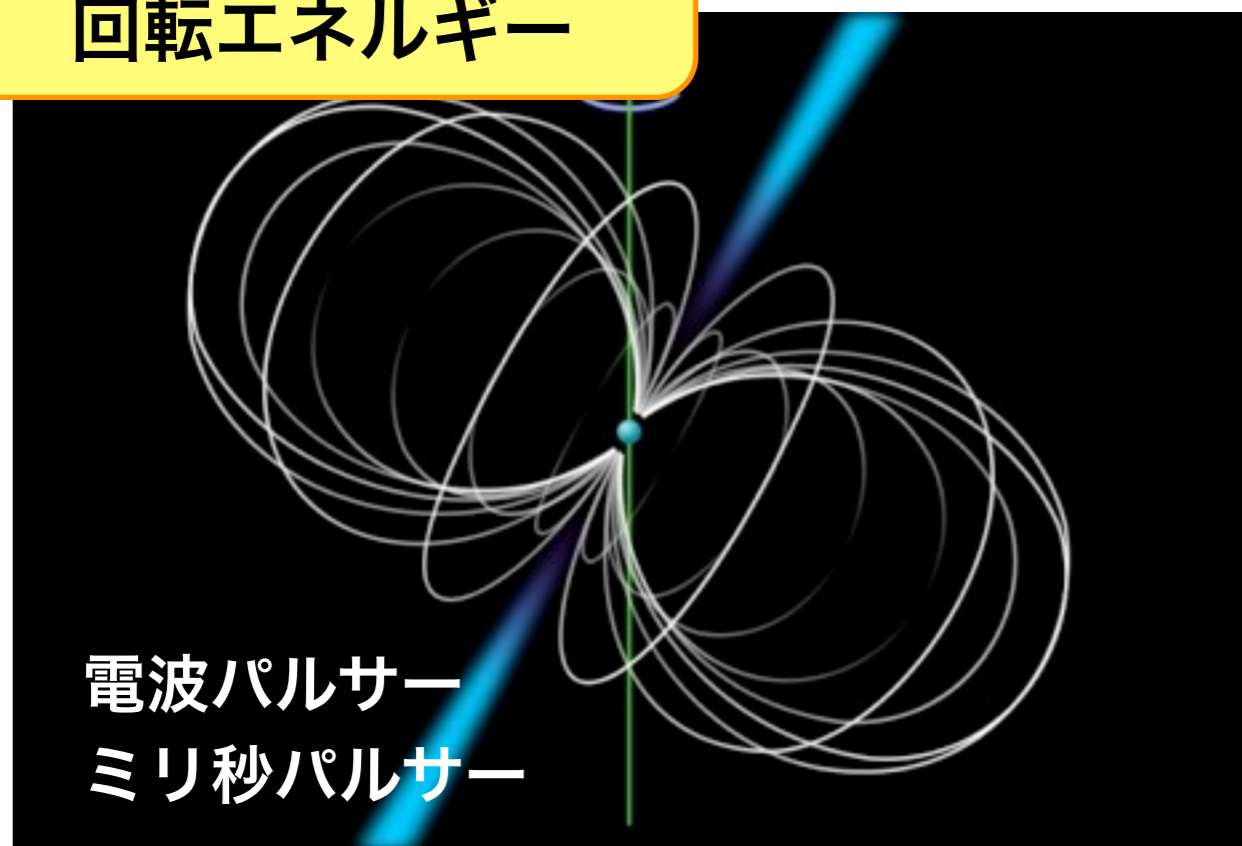
磁場エネルギーの解放と星の内部

榎戸 輝揚

理化学研究所 仁科センター 玉川高エネルギー宇宙物理研究室
NASA ゴダード宇宙飛行センター

中性子星のエネルギー源

回転エネルギー



電波パルサー
ミリ秒パルサー

重力エネルギー



大質量X線連星
小質量X線連星

熱エネルギー



CCO
XDINS

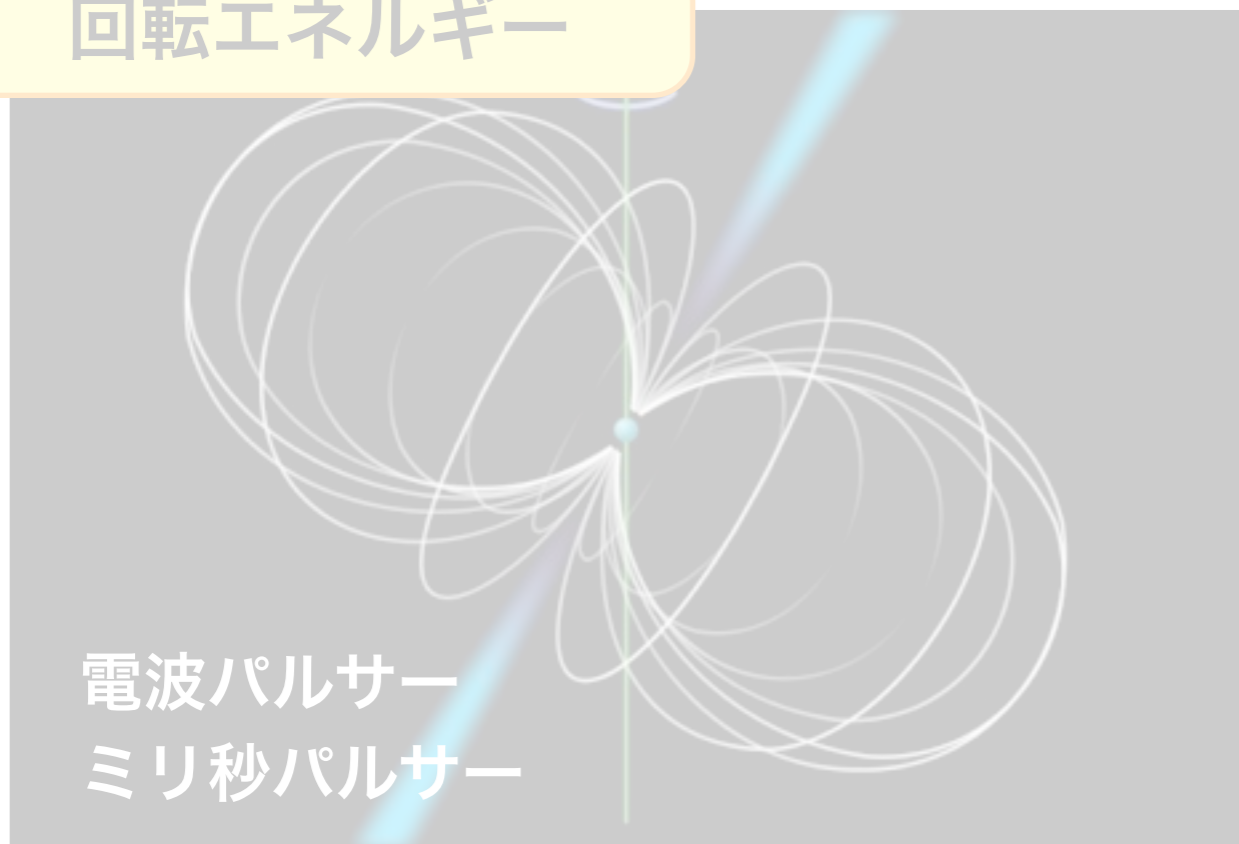
磁場エネルギー



軟ガンマ線リピーター
特異X線パルサー

中性子星のエネルギー源

回転エネルギー



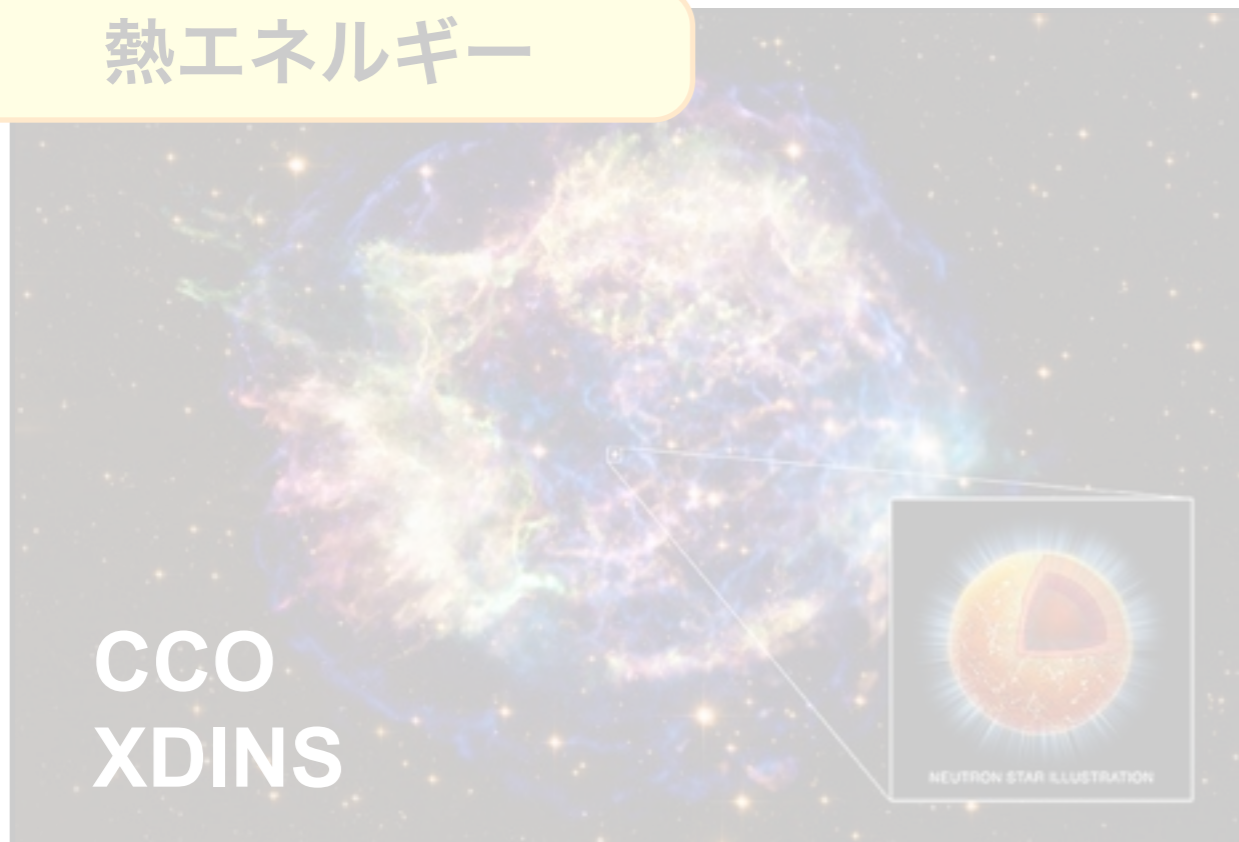
電波パルサー
ミリ秒パルサー

重力エネルギー



大質量X線連星
小質量X線連星

熱エネルギー



CCO
XDINS

磁場エネルギー



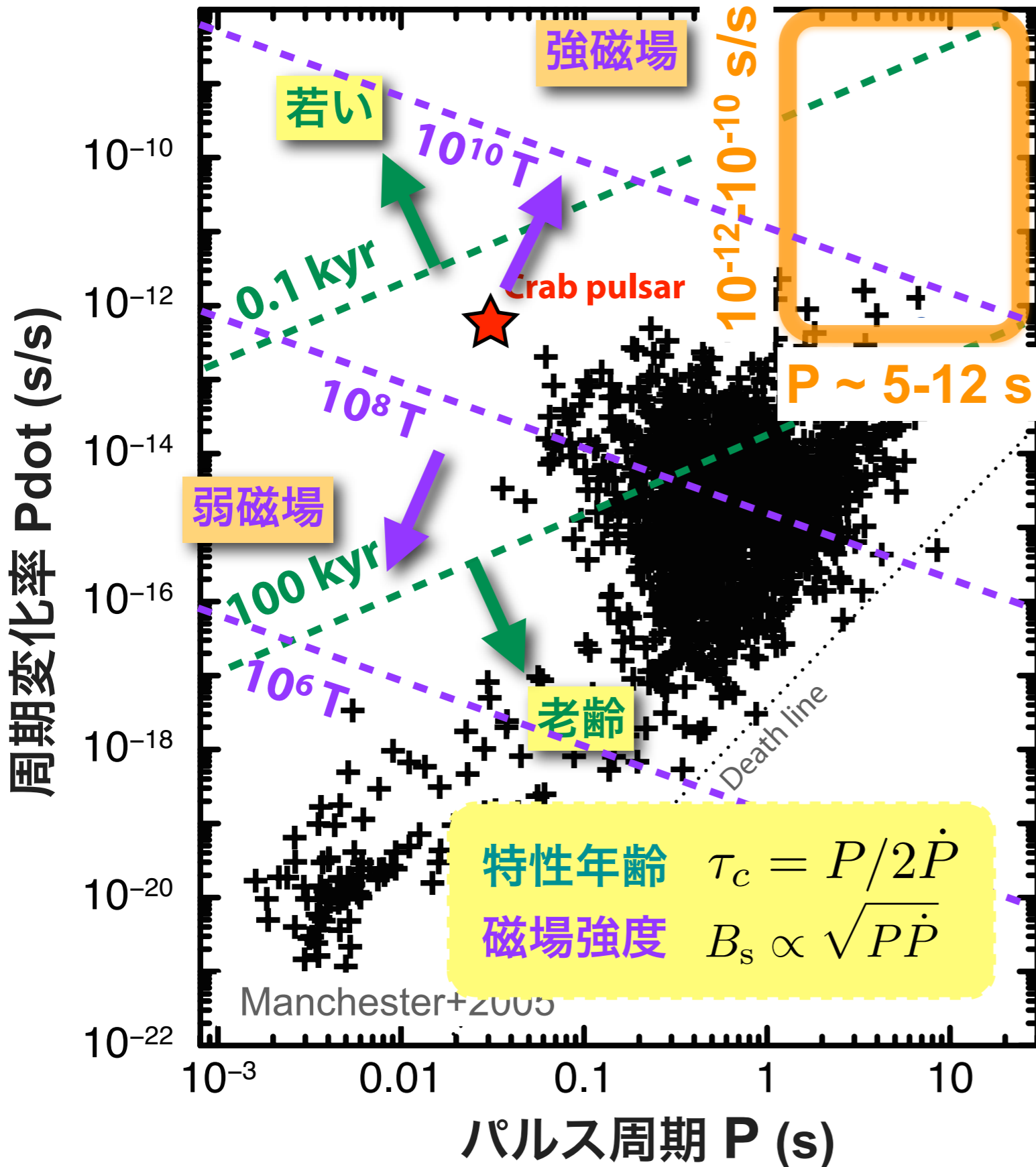
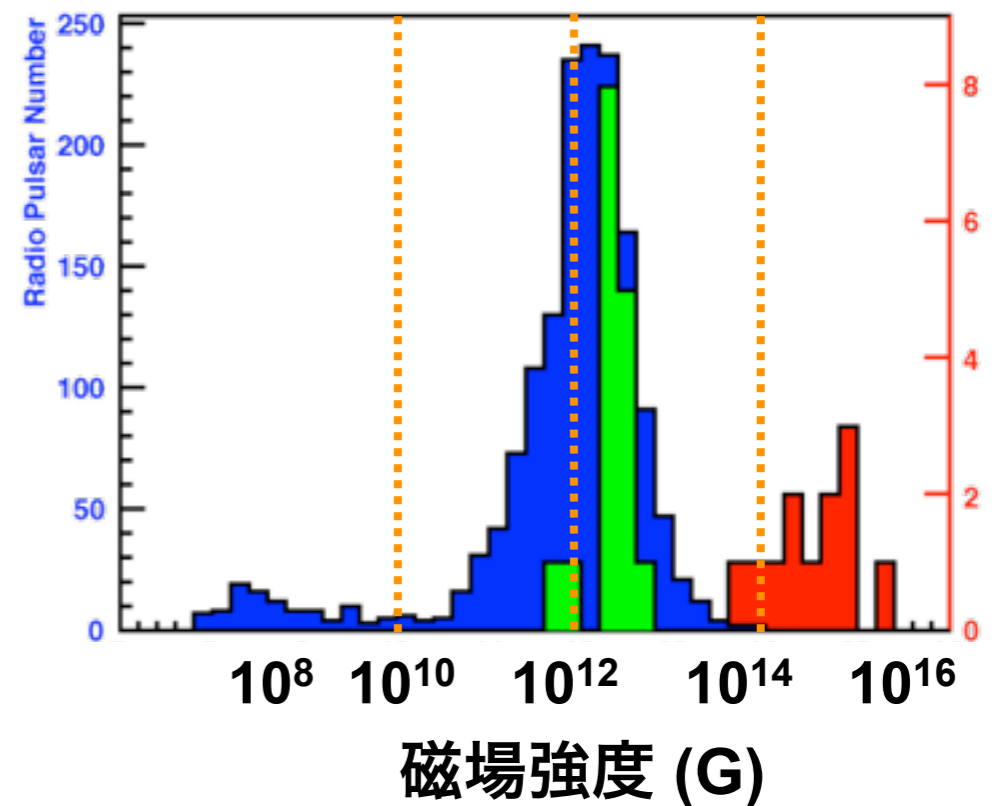
軟ガンマ線リピーター
特異X線パルサー

特殊なX線源の発見: 超強磁場のパルサー?

軟ガンマ線リピーター 特異X線パルサー

- 銀河系内に ~20 天体
- 電波放射がなくX線で輝く
- 遅い自転. 急速に減速.
- 磁場が強く若い天体

天体の個数



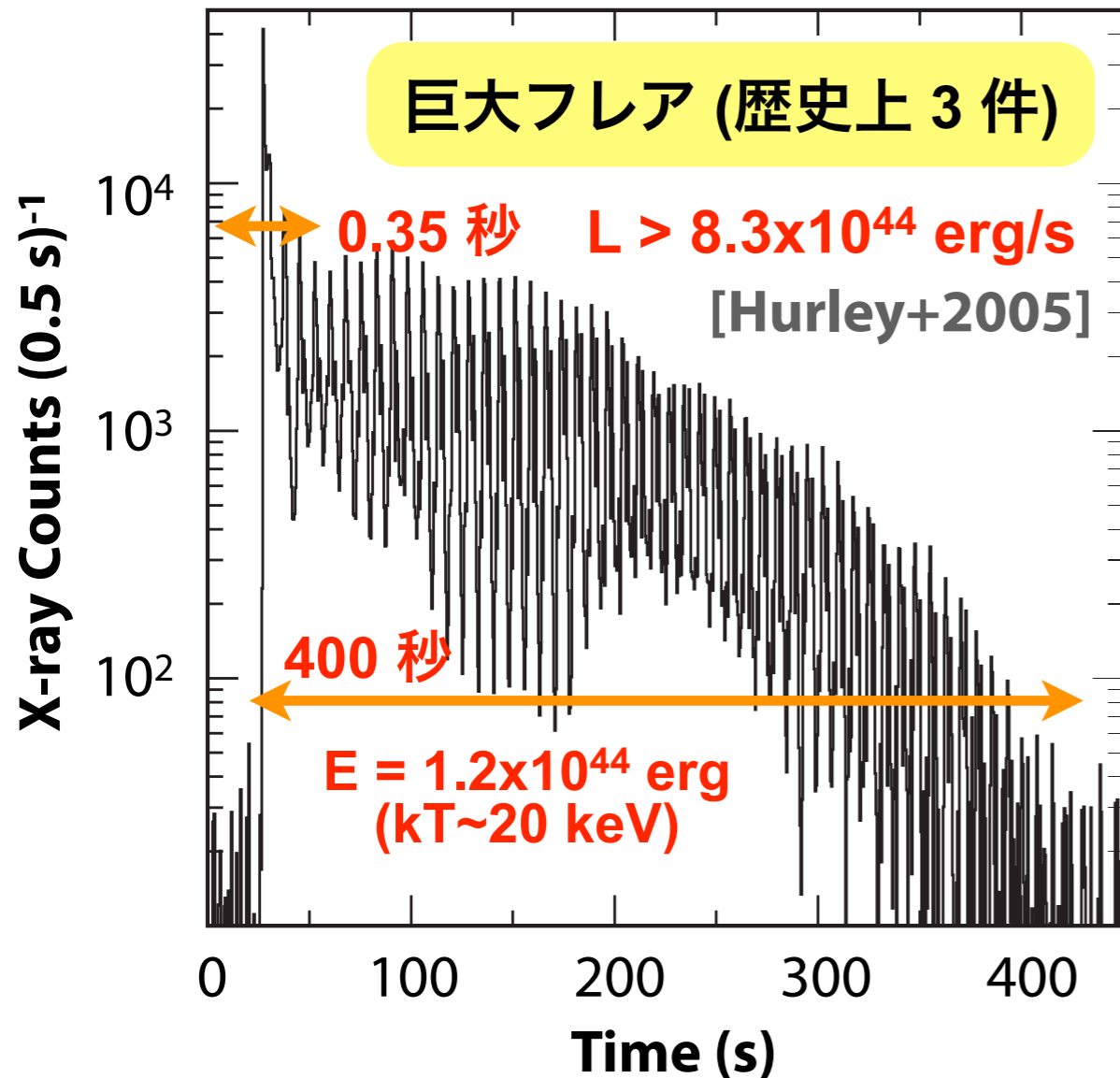
周期変化率 \dot{P} (s/s)

パルス周期 P (s)

2種族のマグネター; バースト放射と定常放射

軟ガンマ線リピーター (SGR)

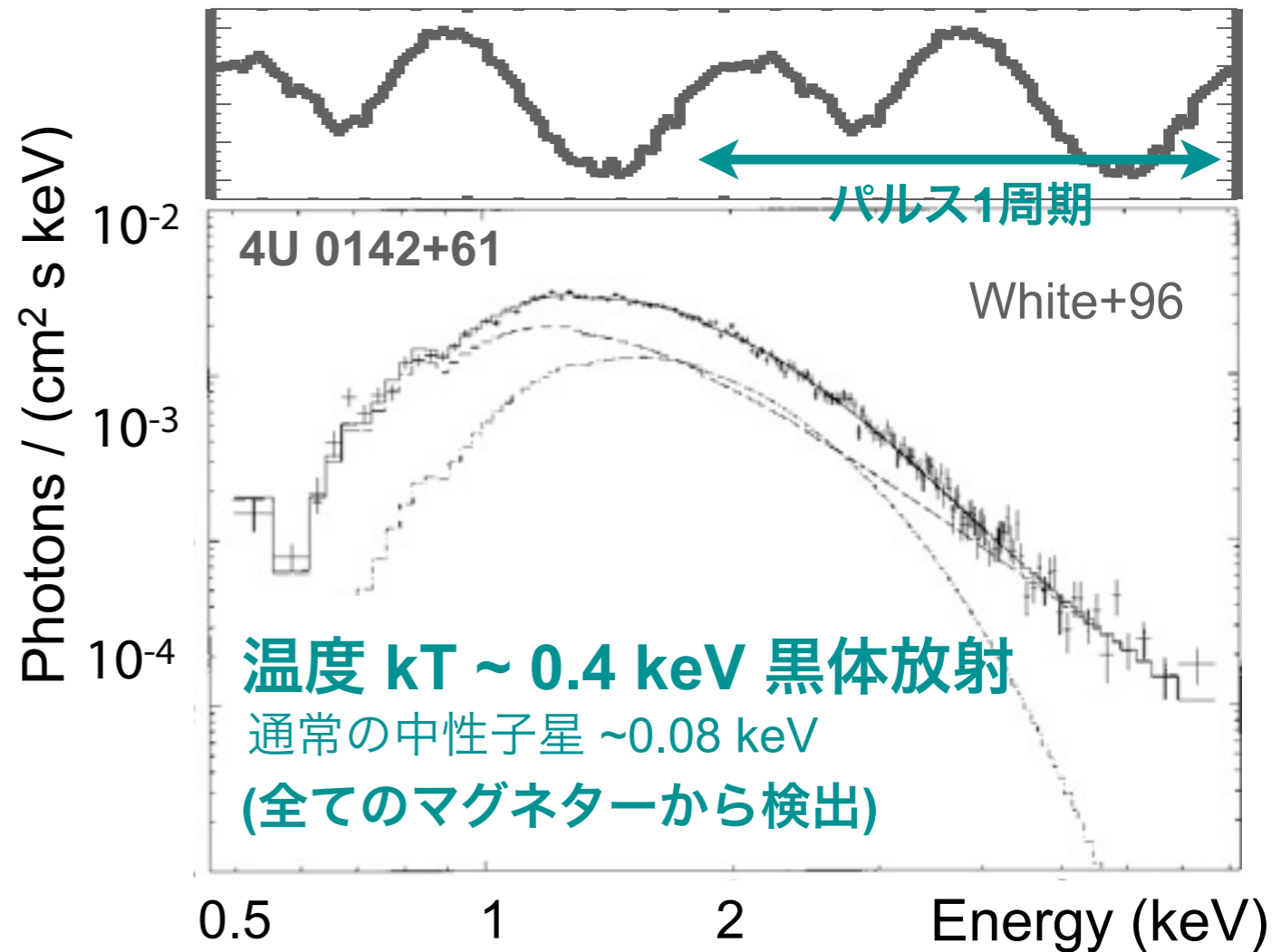
主に再帰的なバースト放射で発見



400 秒にわたり数十keVのプラズマを閉じ込めるには、 $B > 10^{10}$ T が必要

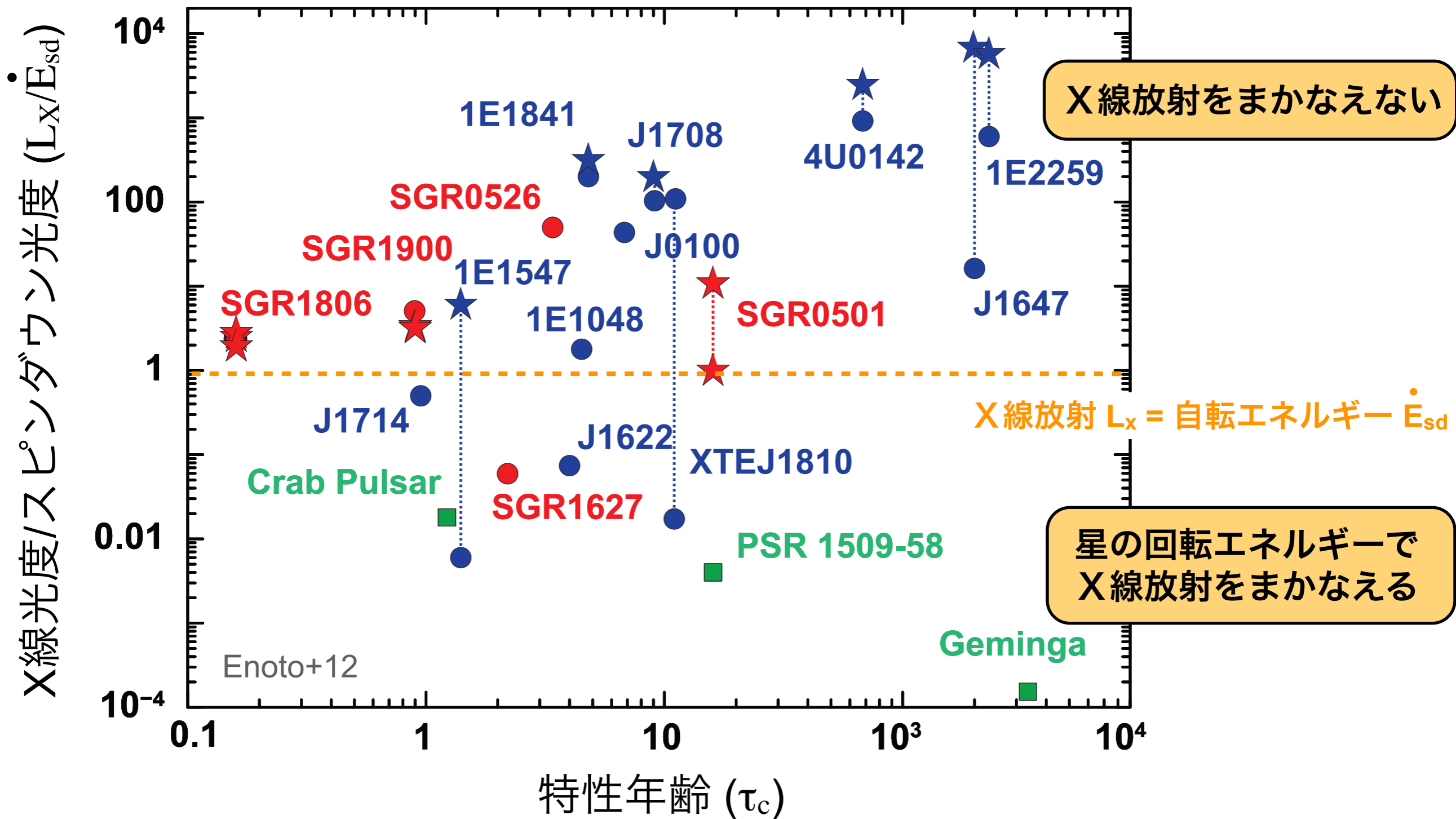
特異 X 線パルサー (AXP)

パルスした明るいX線源として発見



X線放射 >> 回転エネルギー
磁場エネルギー \Rightarrow 星表面の熱放射か？

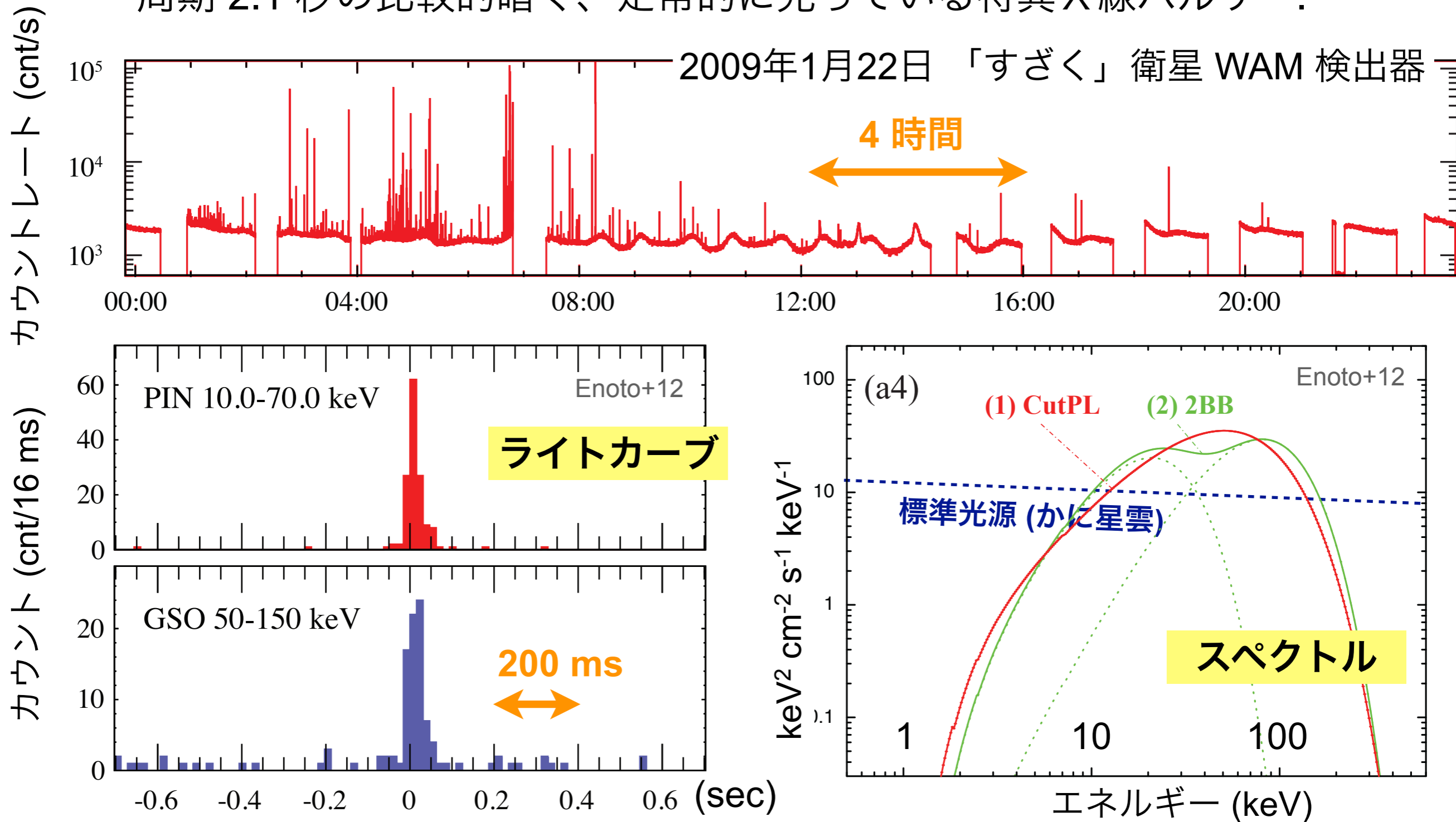
X線放射のエネルギー源は？



回転エネルギーを越えるX線放射 \Rightarrow 磁場エネルギーを解放している天体。
 X線光度が桁で変動：マグネターの特徴「X線アウトバースト(突発増光)」

AXP 1E 1547.0-5408 の X 線アウトバースト(1)

周期 2.1 秒の比較的暗く、定常的に光っている特異 X 線パルサー。

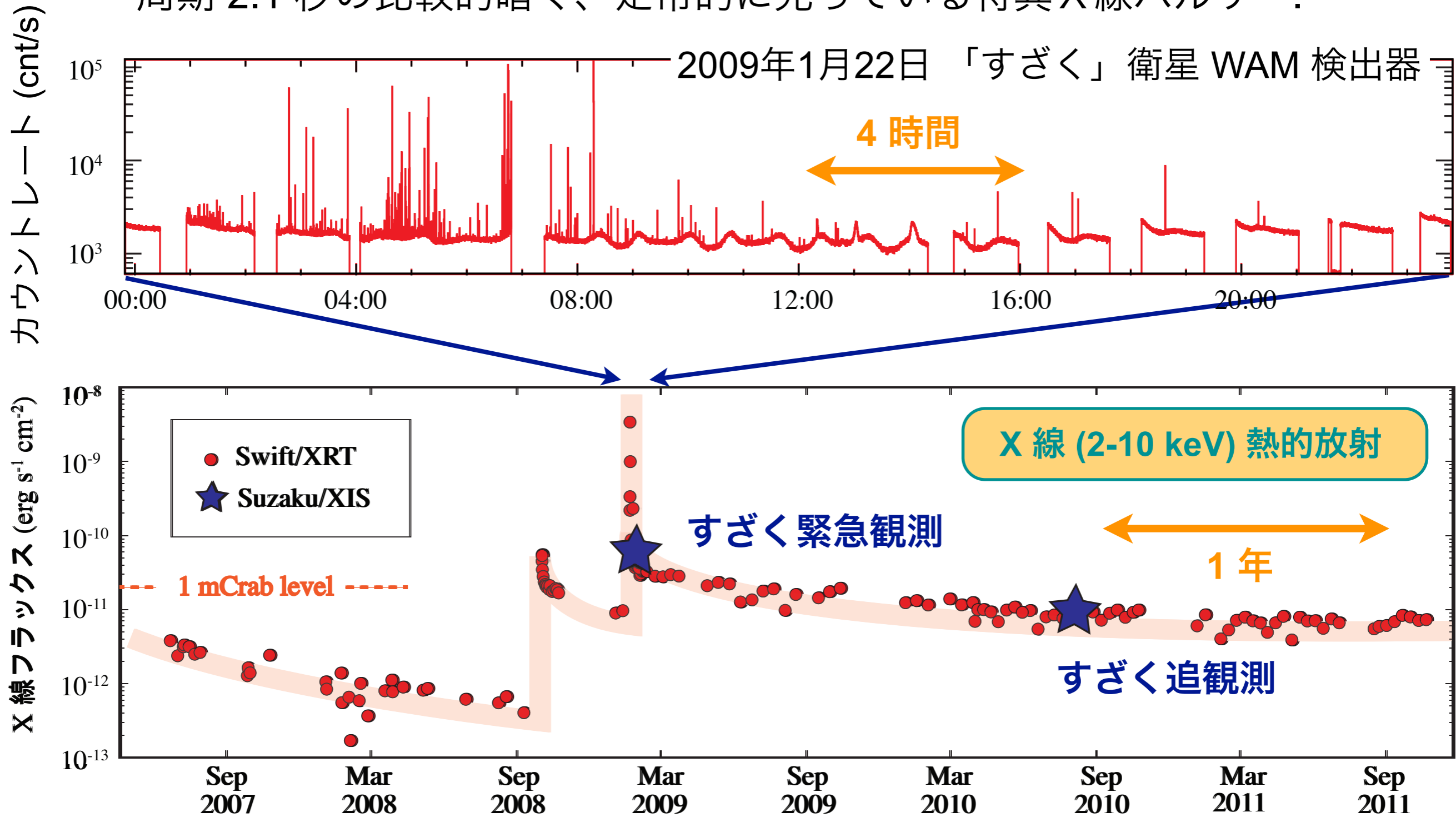


特徴1: きわめて明るい、短時間バースト (Short Burst) を頻発。

継続時間 ~ 百ミリ秒、2 温度の黒体放射スペクトル ($kT \sim 4, 11$ keV)

AXP 1E 1547.0-5408 の X 線アウトバースト(2)

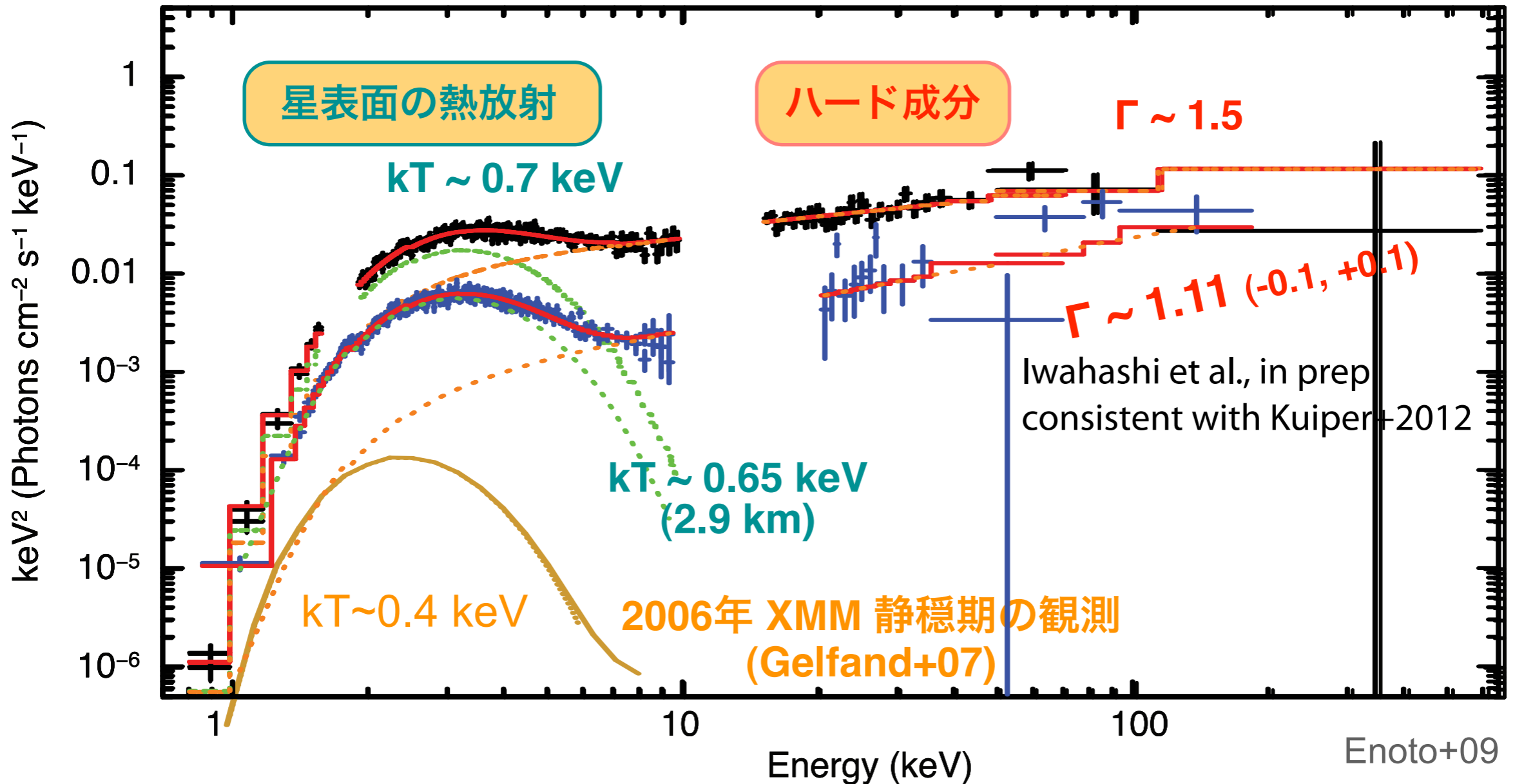
周期 2.1 秒の比較的暗く、定常的に光っている特異 X 線パルサー。



特徴2: 定常 X 線が ~2-3 桁も突発増光。数ヶ月かけて減光。

AXP 1E 1547.0-5408 の X 線アウトバースト (3)

すざく緊急観測 2009年1月(33 ks)

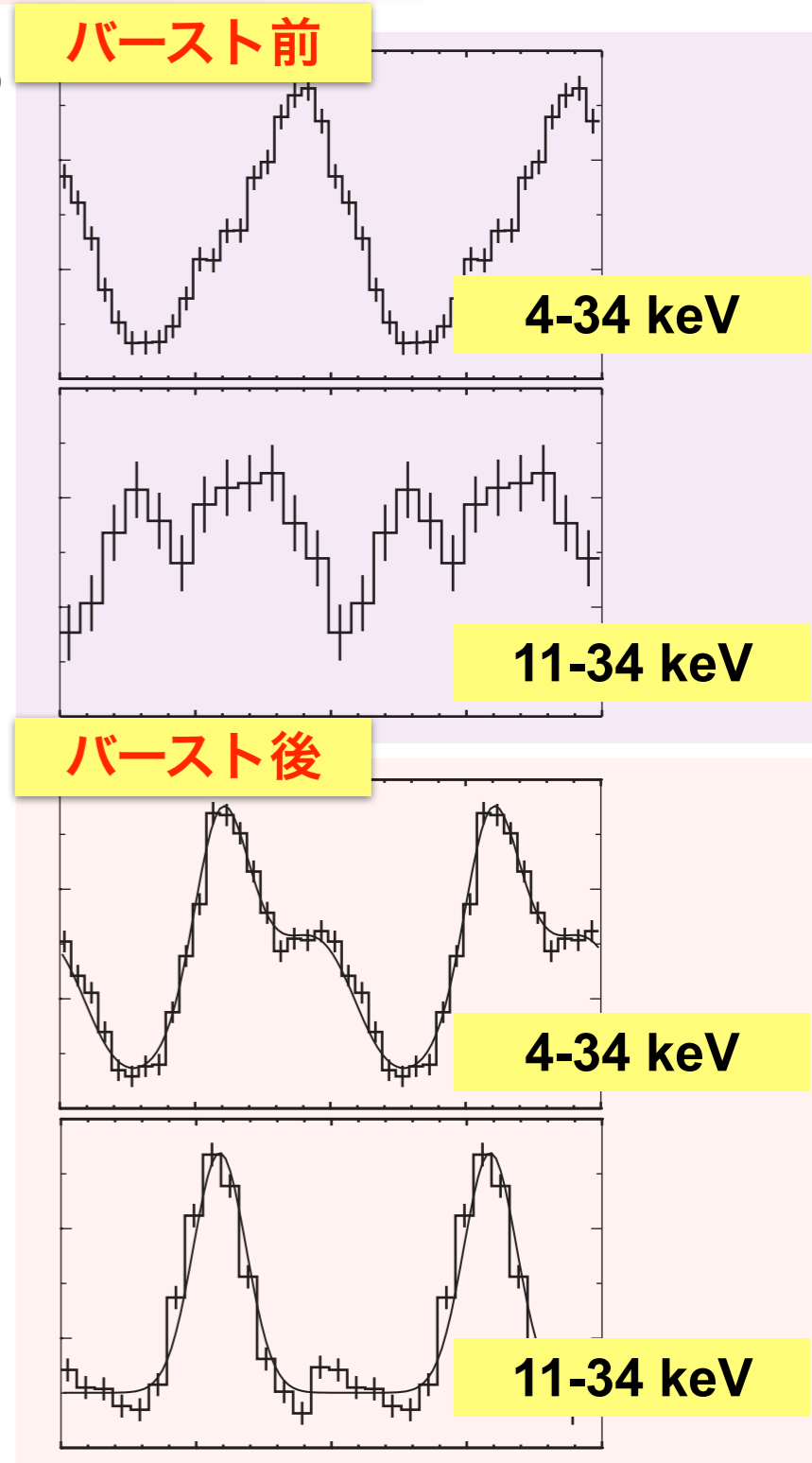
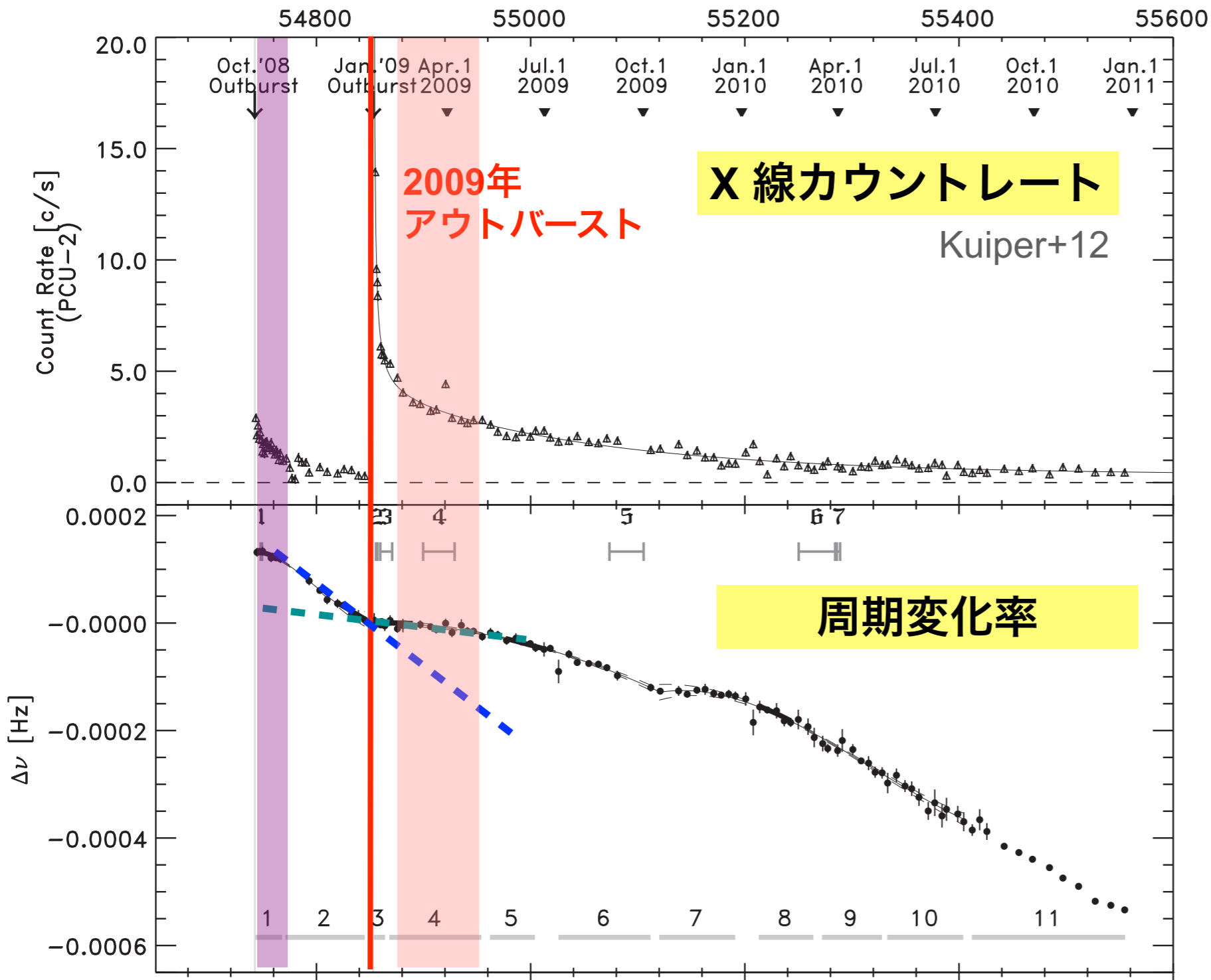


アウトバースト中の天体から明確はハード成分を世界で初めて発見。
1年後の追観測でもハード成分を検出。両成分とも徐々に減光していた。

特徴2: 定常X線が~2-3桁も突発増光。数ヶ月かけて減光。

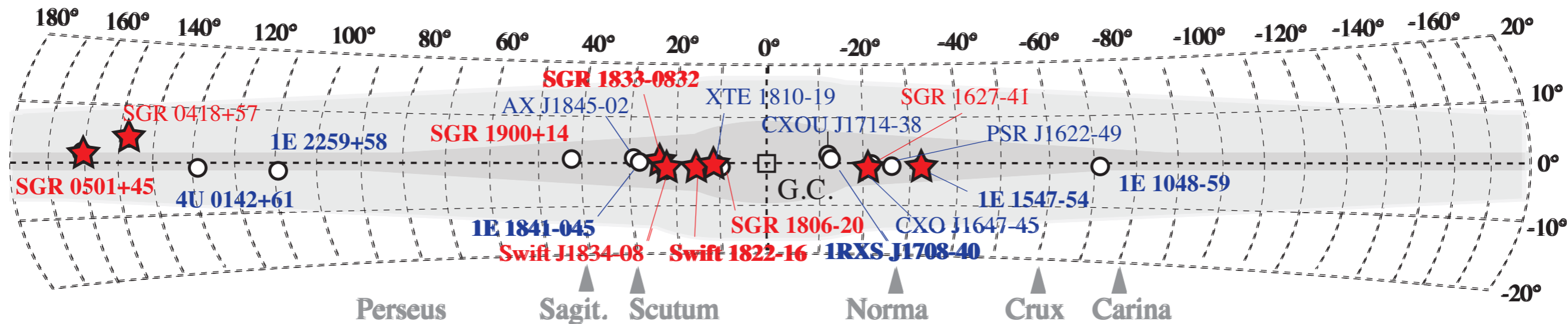
星表面の熱的放射と 10 keV 以上で卓越するハード成分が共に増光

AXP 1E 1547.0-5408 の X 線アウトバースト(4)



特徴3: 自転周期の変化率にとび（グリッジ）が観測されることがある
バーストの前後でパルス波形の変化 ⇒ 星表面にホットスポットの出現

相次ぐ新マグネターの発見

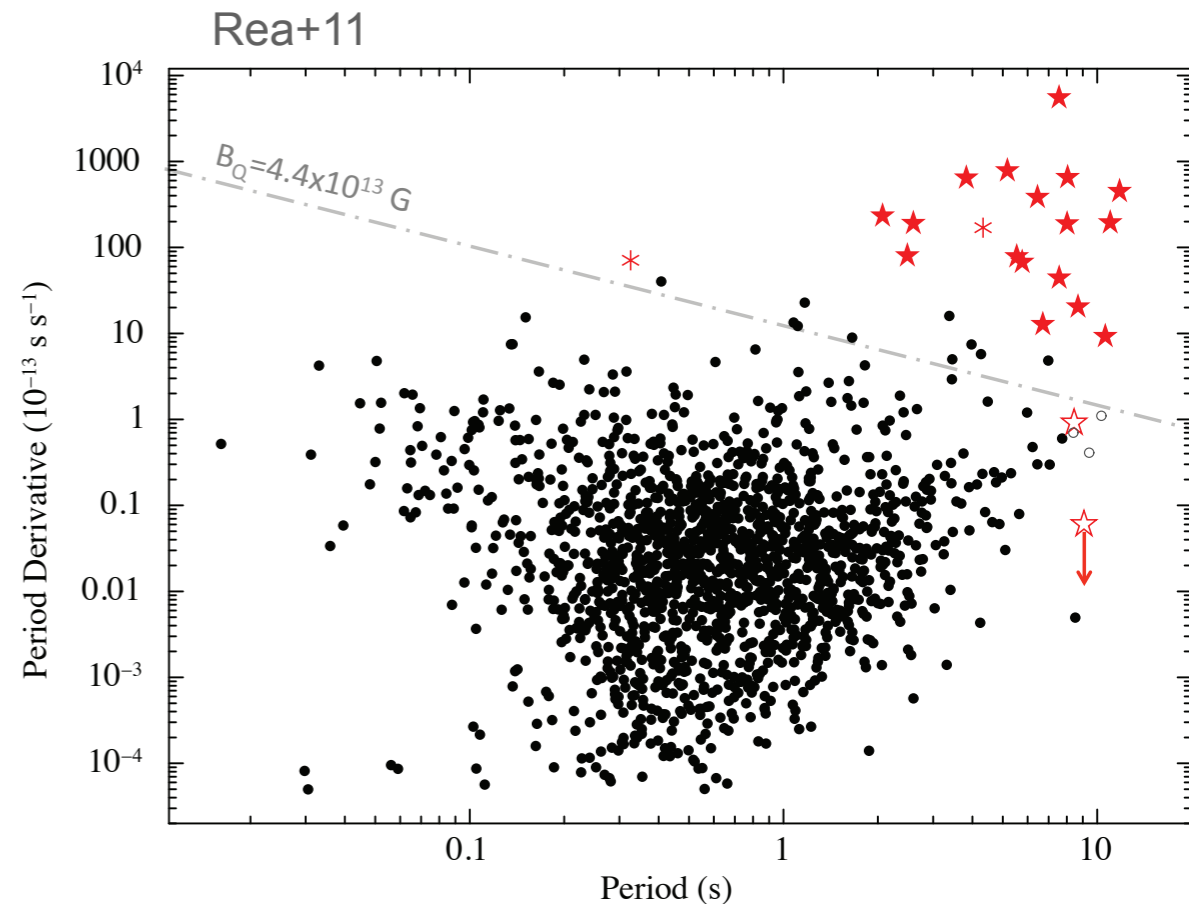


X線アウトバースト

(短時間バースト、定常X線の増光、グリッジ)

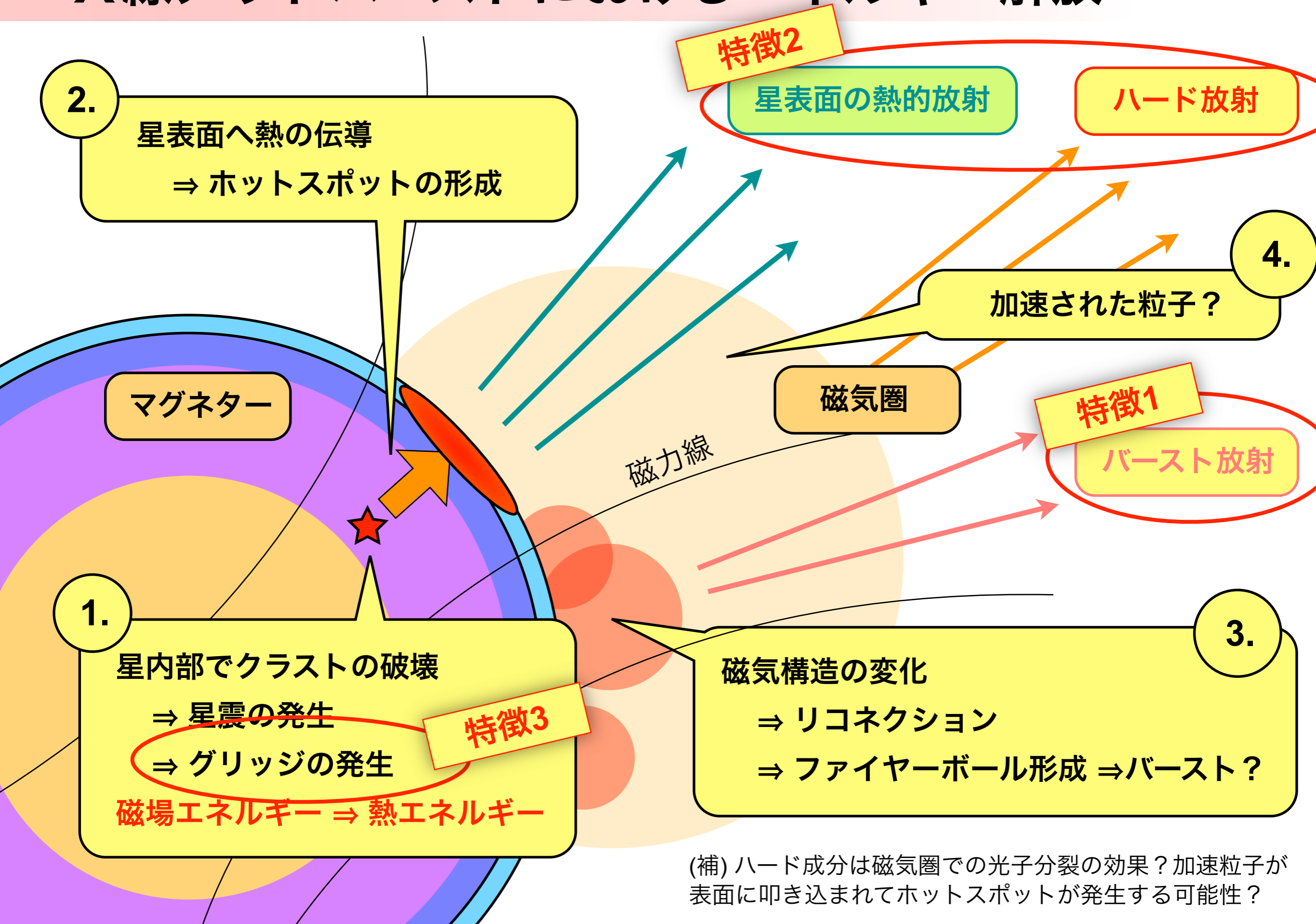
新天体

- 2006年 CXOU J164710-455216
- 2008年 SGR 0501+4516, SGR 1627-41, 1E 1547-5408
- 2009年 1E 1547-5408, SGR 0418+5729
- 2010年 SGR 1833-0832
- 2011年 Swift J1822.3-1606, Swift J1834.9-0846



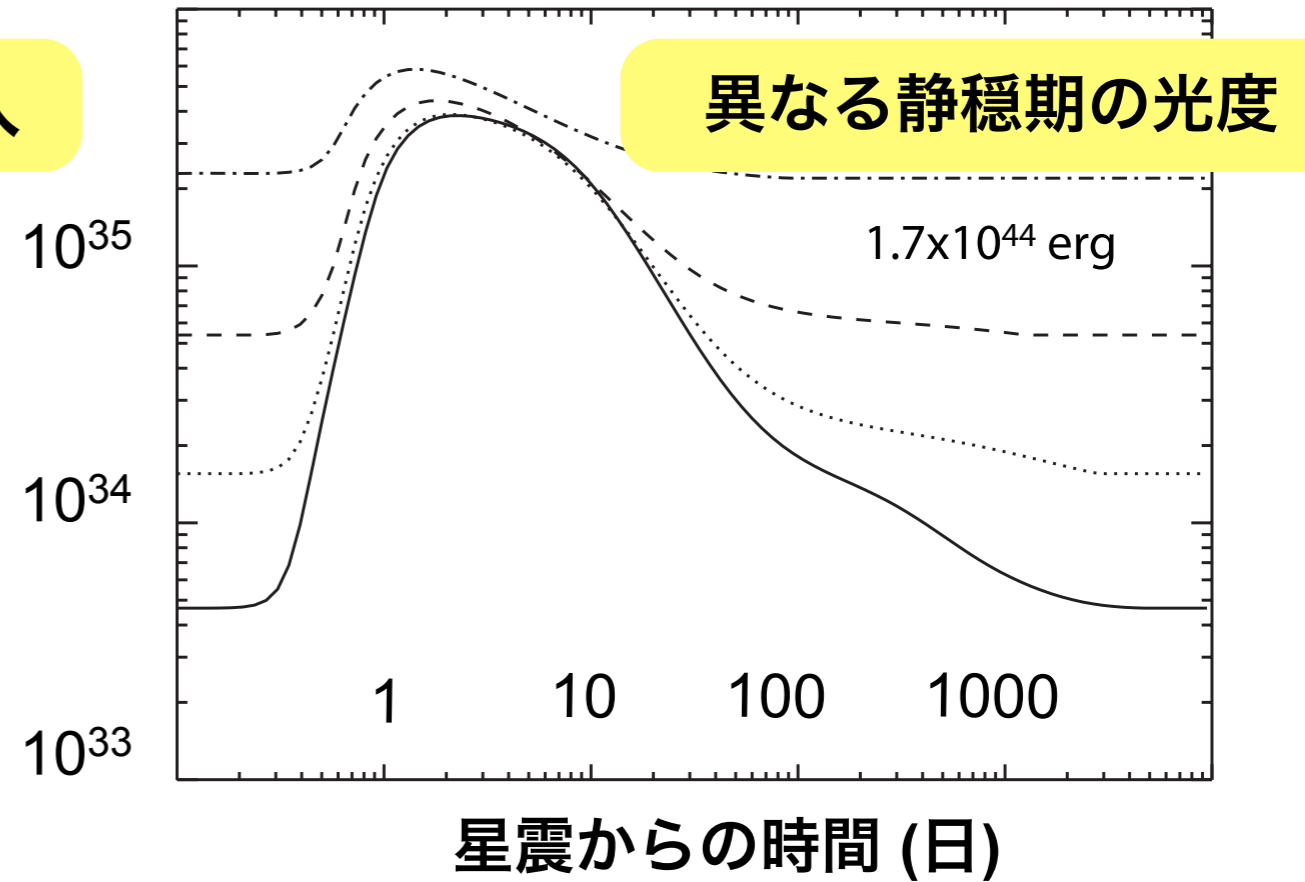
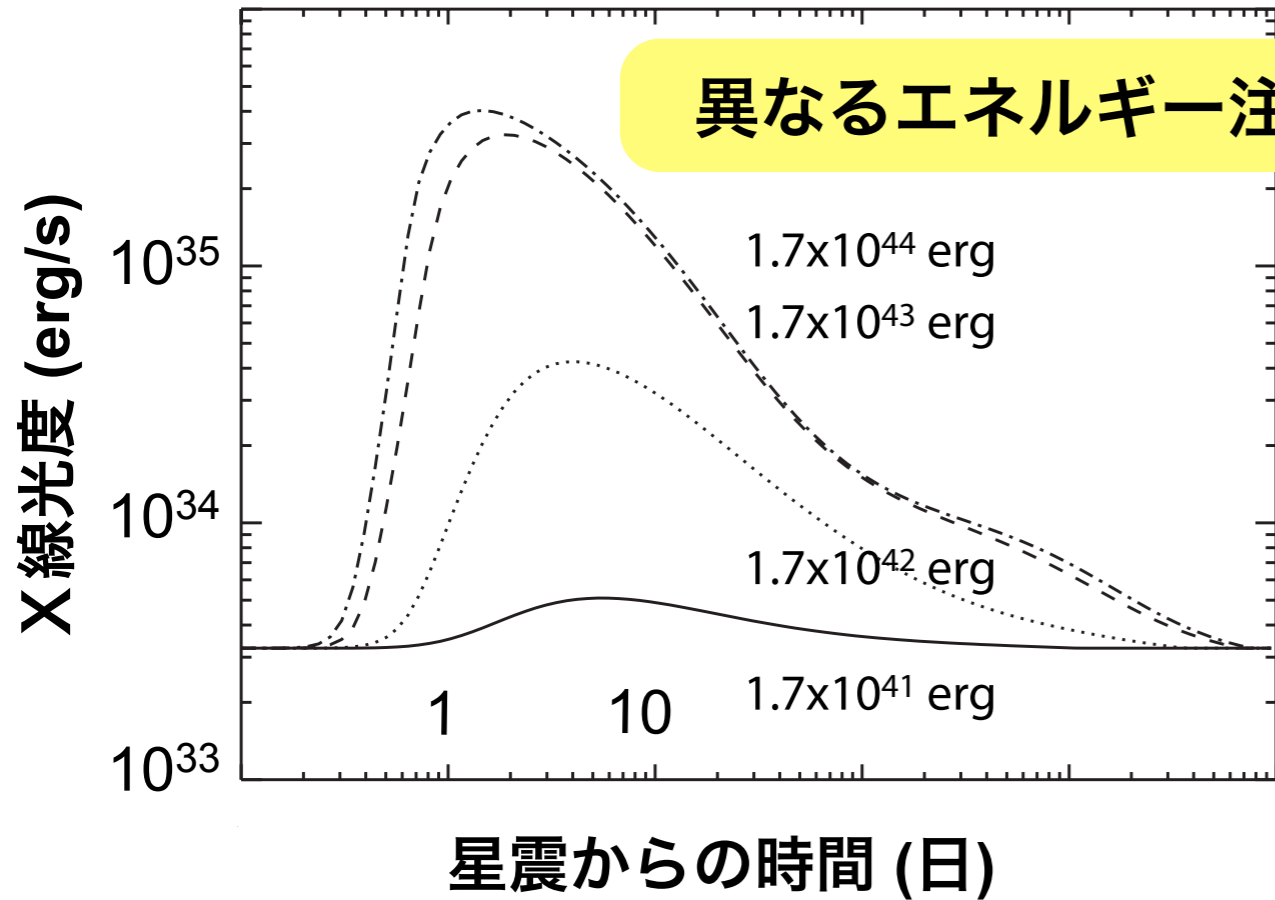
これまで考えられていた以上に多く、銀河系内にマグネターが存在 (X線アウトバーストは磁場エネルギーの解放の本質的な過程を反映)

X線アウトバーストにおけるエネルギー解放



(補) ハード成分は磁気圏での光子分裂の効果? 加速粒子が表面に叩き込まれてホットスポットが発生する可能性?

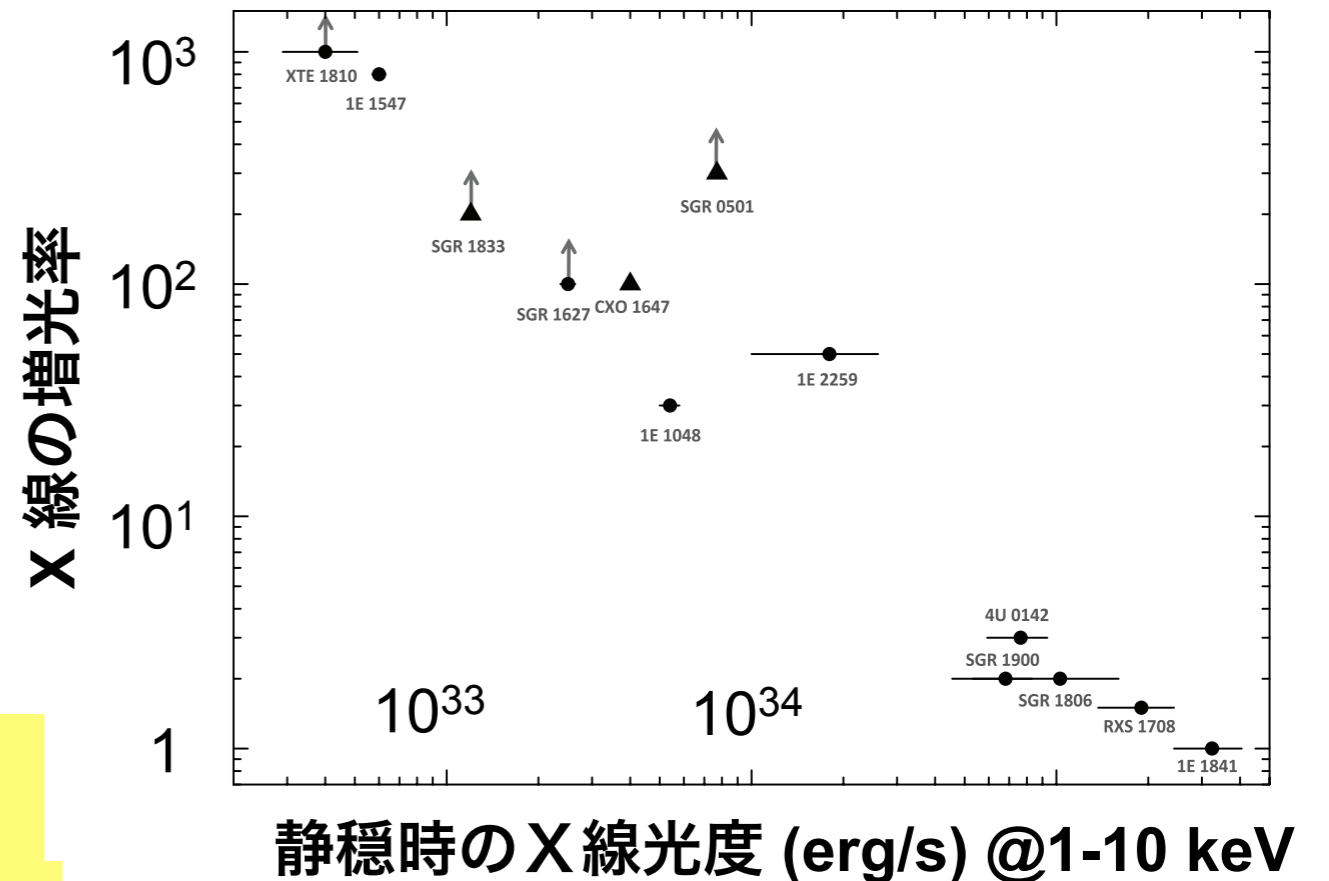
星内部の熱解放から予想される X 線光度



星内部の熱伝導の考察 [Pons & Rea 2012]

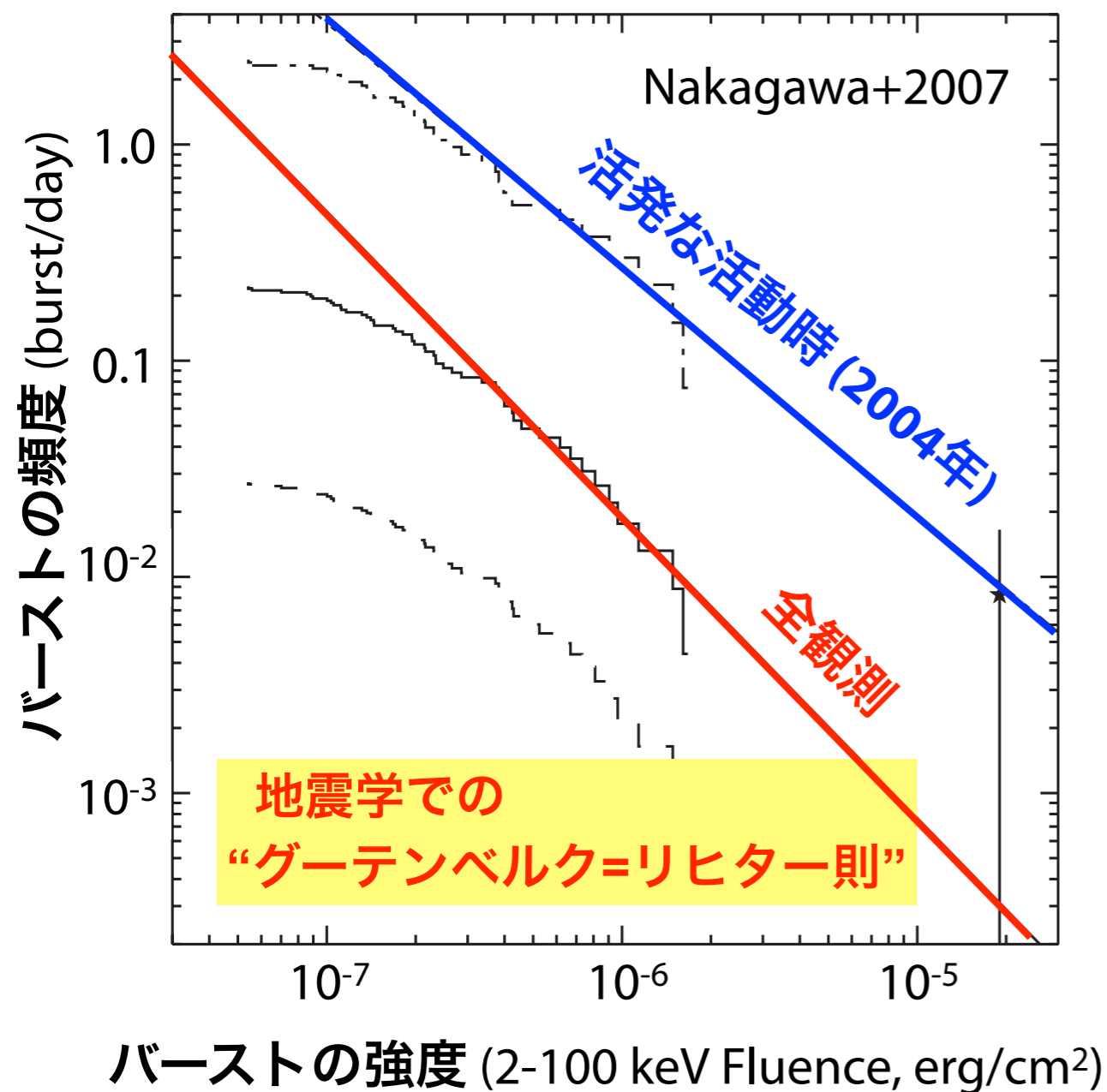
- ニュートリノ放出の可能性？
- 最大 X 線光度 (10^{35-36} erg/s)？
- 静穏時に暗い天体ほど X 線アウトバーストでの増光が大きい？

本当にエネルギー解放は単発か？



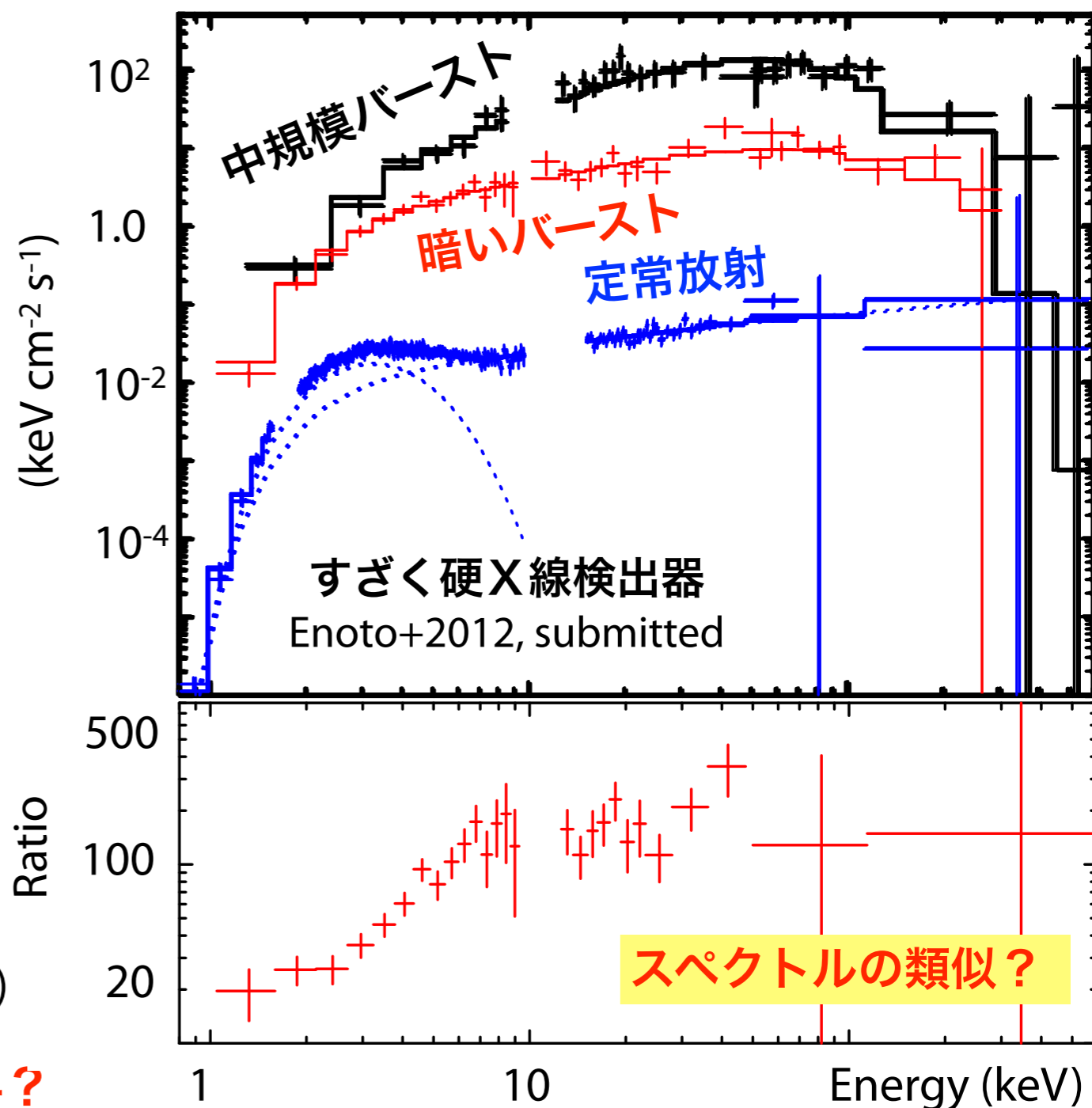
定常X線はバーストの重ね合わせか？

バーストの強度分布 (HETE-2 衛星)



分解できない小バーストが定常放射に寄与？

スペクトル比較: 定常放射 vs. バースト

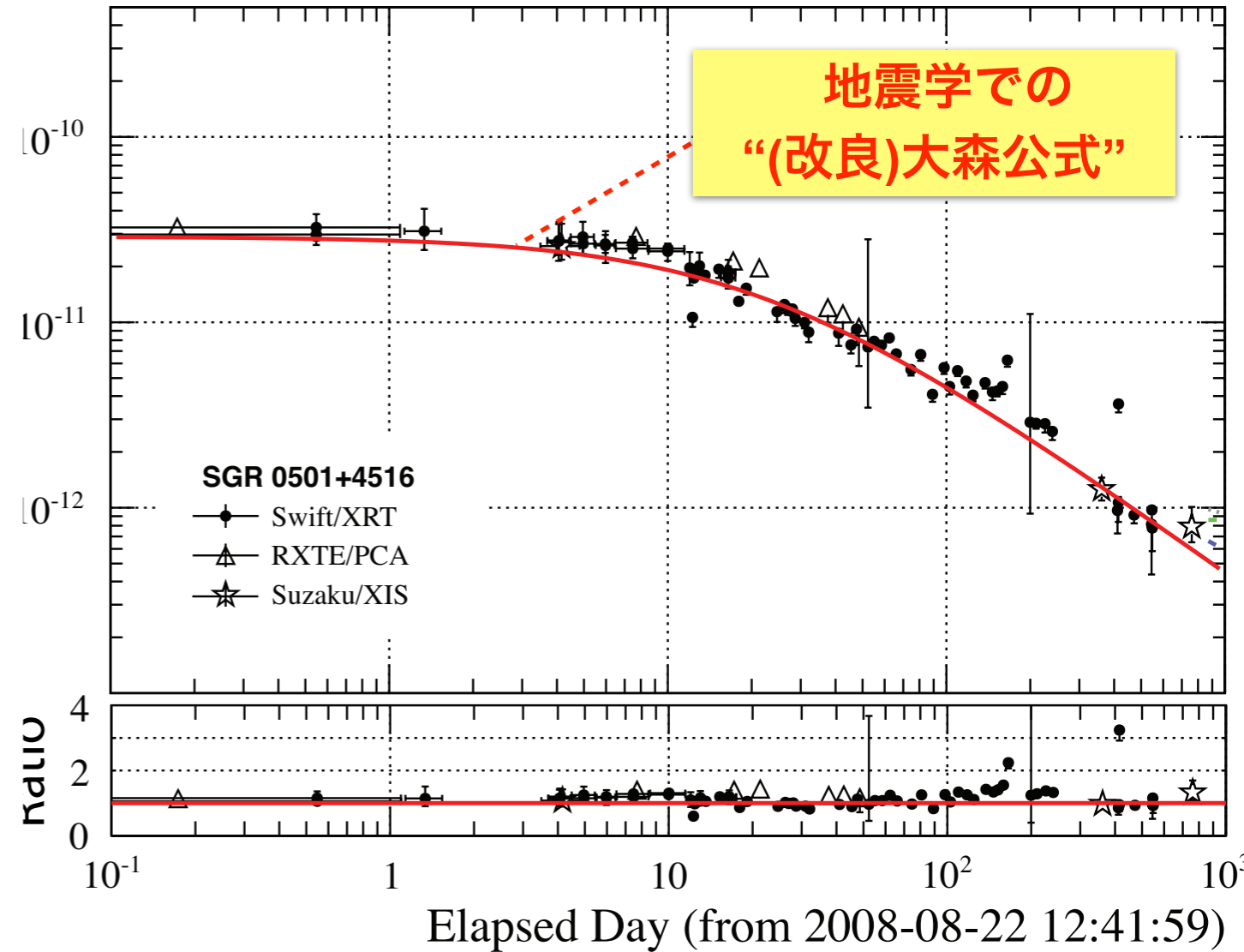
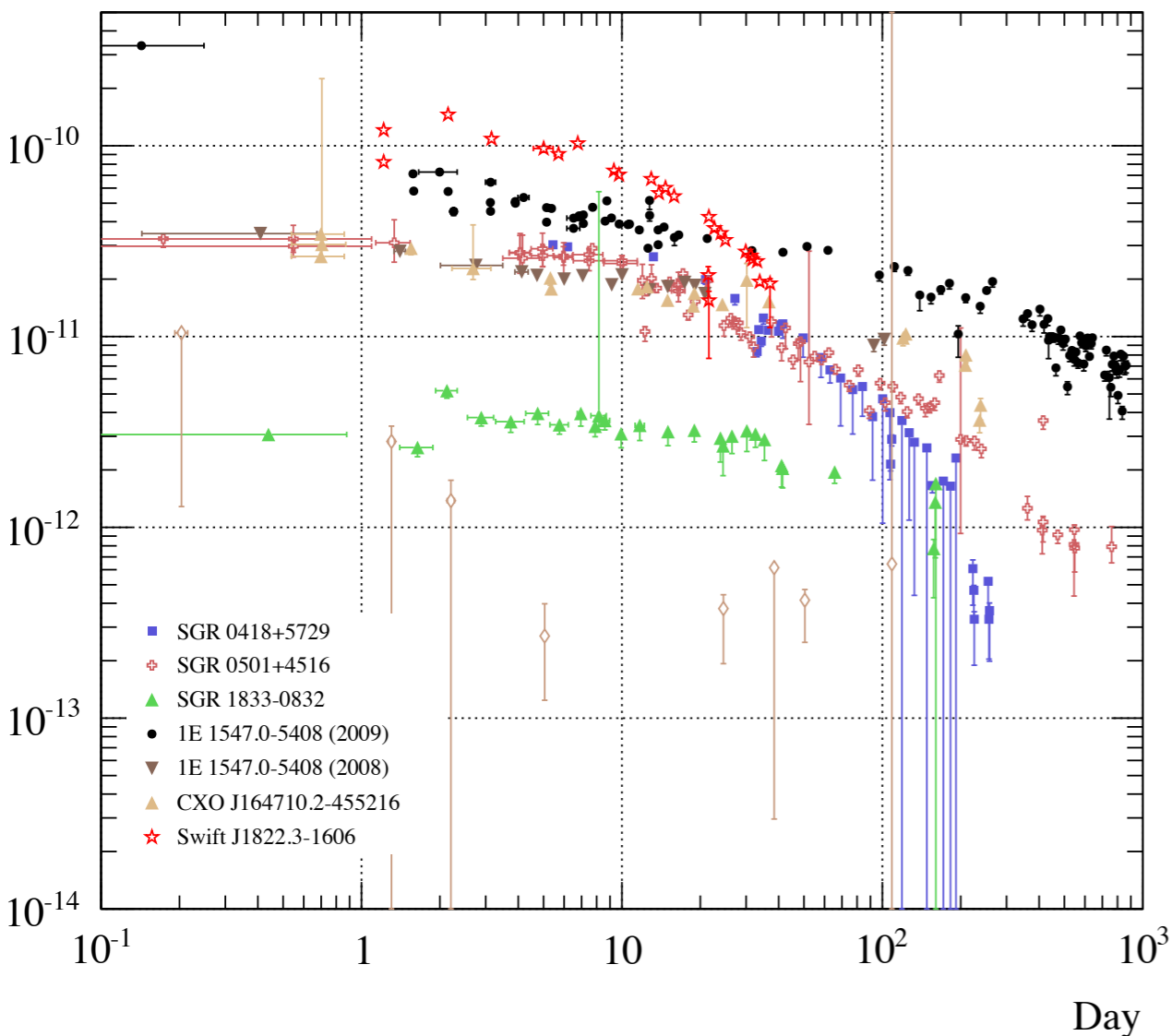


多数の小さなエネルギーの解放が積み重なって定常放射になる可能性？

X線アウトバーストの減光の法則

現在進行中

X線フラックス (erg/s/cm²)



Swift, RXTE, すざく衛星の全データ解析

X線フラックスは「べき」的な減衰(+初期プラトー)

地震学の大森公式でよく再現 ($p \sim 1$, $\tau \sim 20$ day)

本震後に余震の回数が時間に関してべき乗則で減衰する

星震と磁場エネルギー解放に地震との関連性?

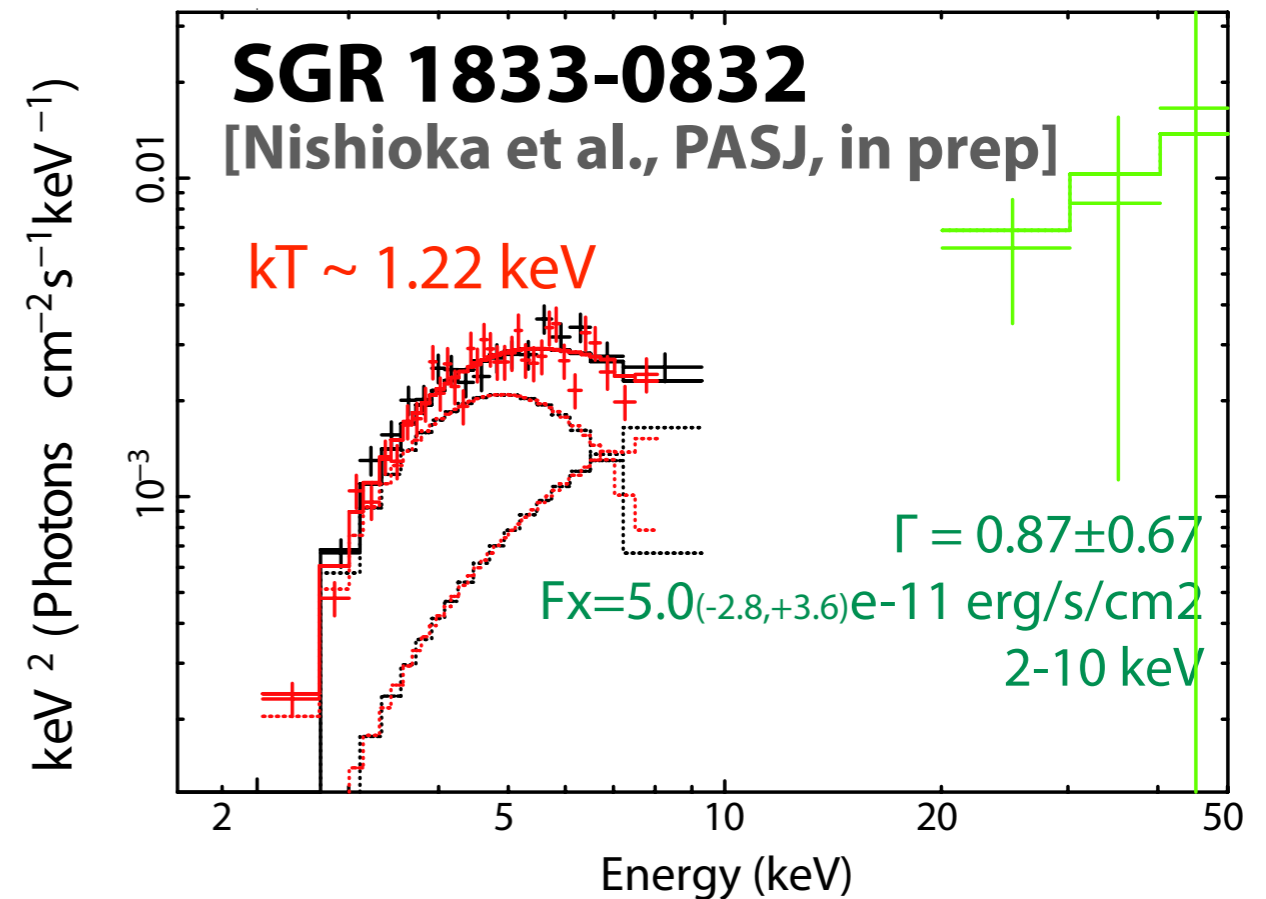
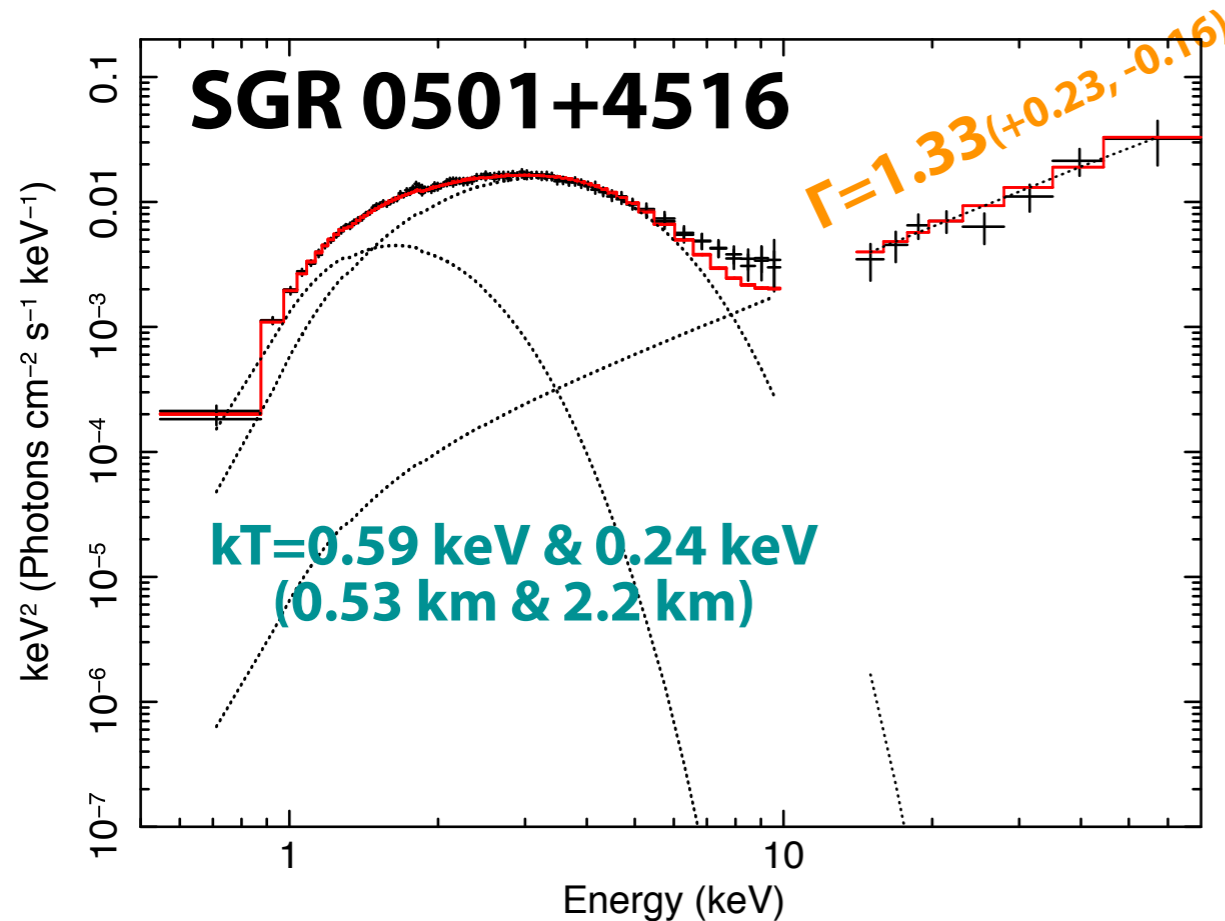
$$F(t) = \frac{K}{(1 + t/\tau)^p}$$

「すざく」 マグネター 緊急観測

現在進行中

マグネターのX線アウトバーストごとに緊急観測を実施。

- SGR 0501+4516 (新発見のマグネター) ⇒ ハード成分を発見 (Enoto+09)
- 1E 1547.0-5408 (多数の短時間バースト) ⇒ ハード成分を発見 (Enoto+09)
- SGR 1833-0832 (新発見のマグネター) ⇒ ハード成分の兆候 (Nishioka in prep)
- Swift J1822.3-1606 (新発見のマグネター) ⇒ TBD



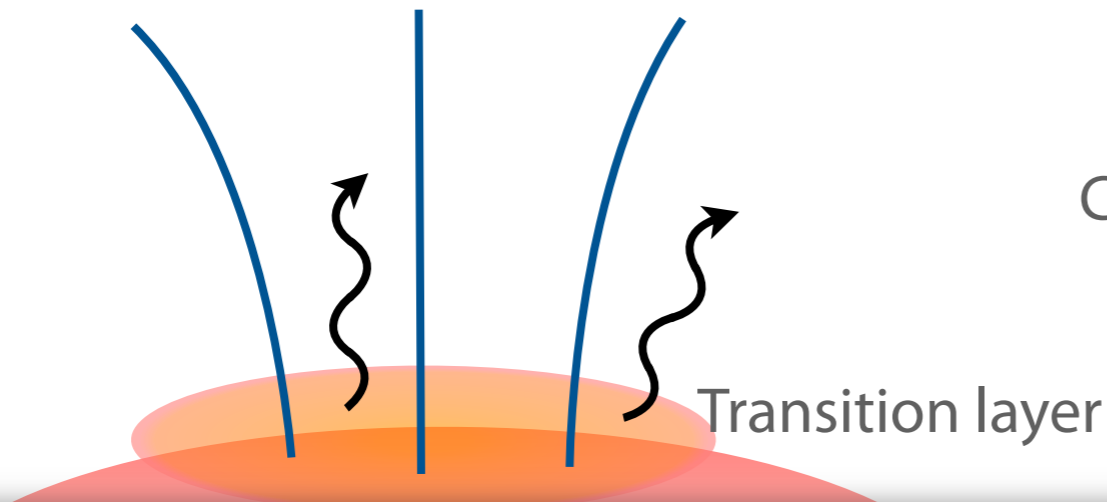
X線アウトバースト中のハード成分の挙動は今後5年で説明が進む。

次期X線天文衛星ASTRO-Hでもマグネター観測の検討を開始。

ハード成分の放射機構

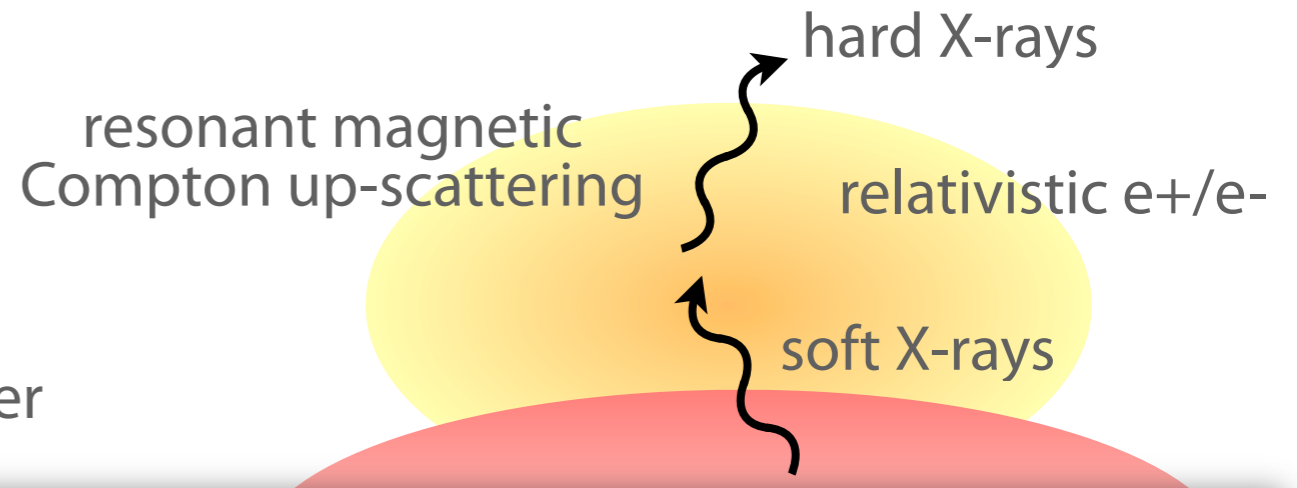
Thermal Bremsstrahlung ?

(Thompson & Beloborodov 05)



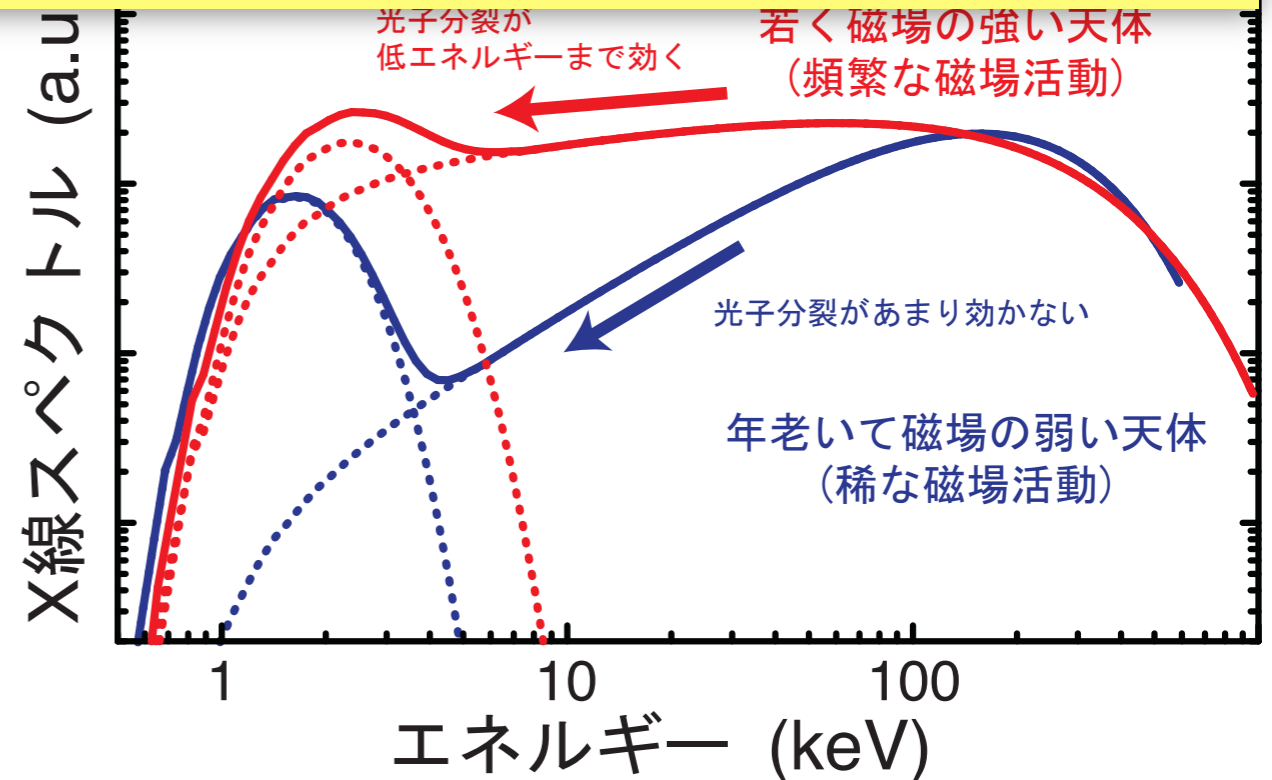
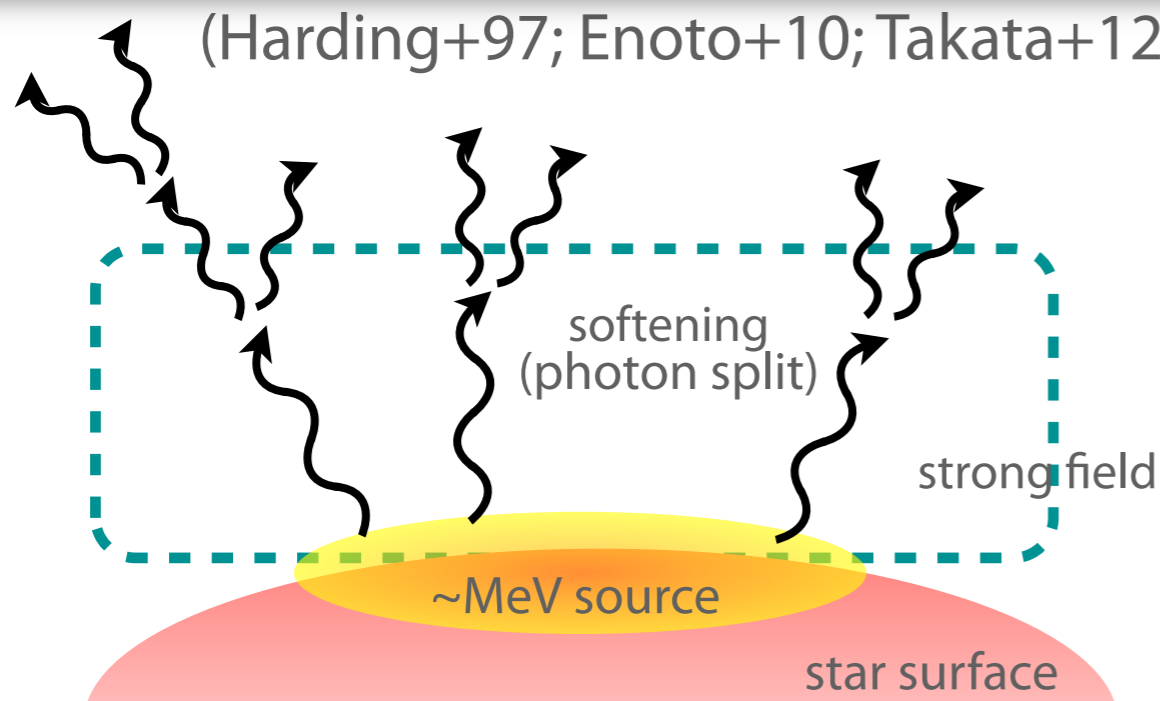
Resonant Compton up-scattering?

(Baring & Harding 07)



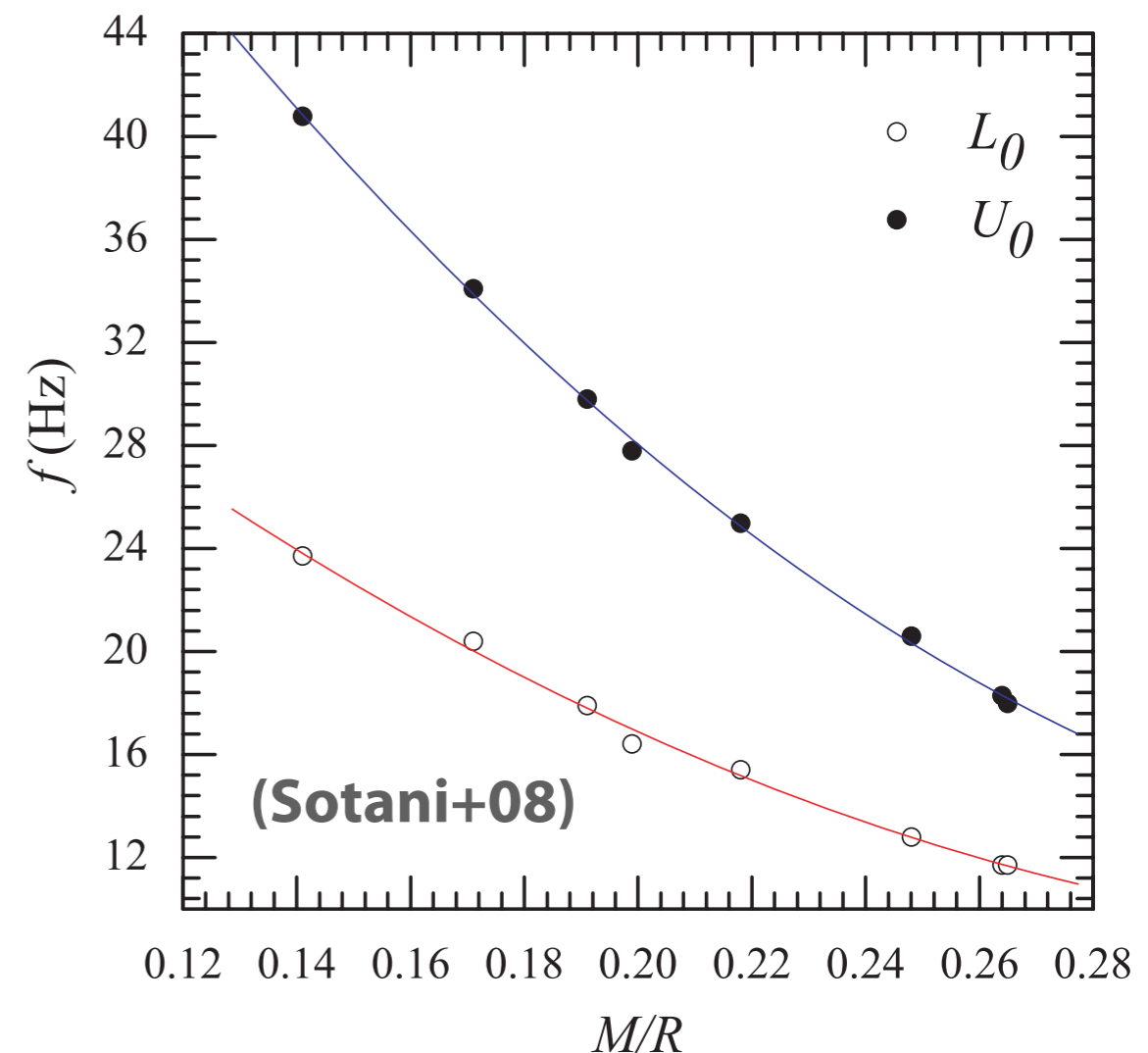
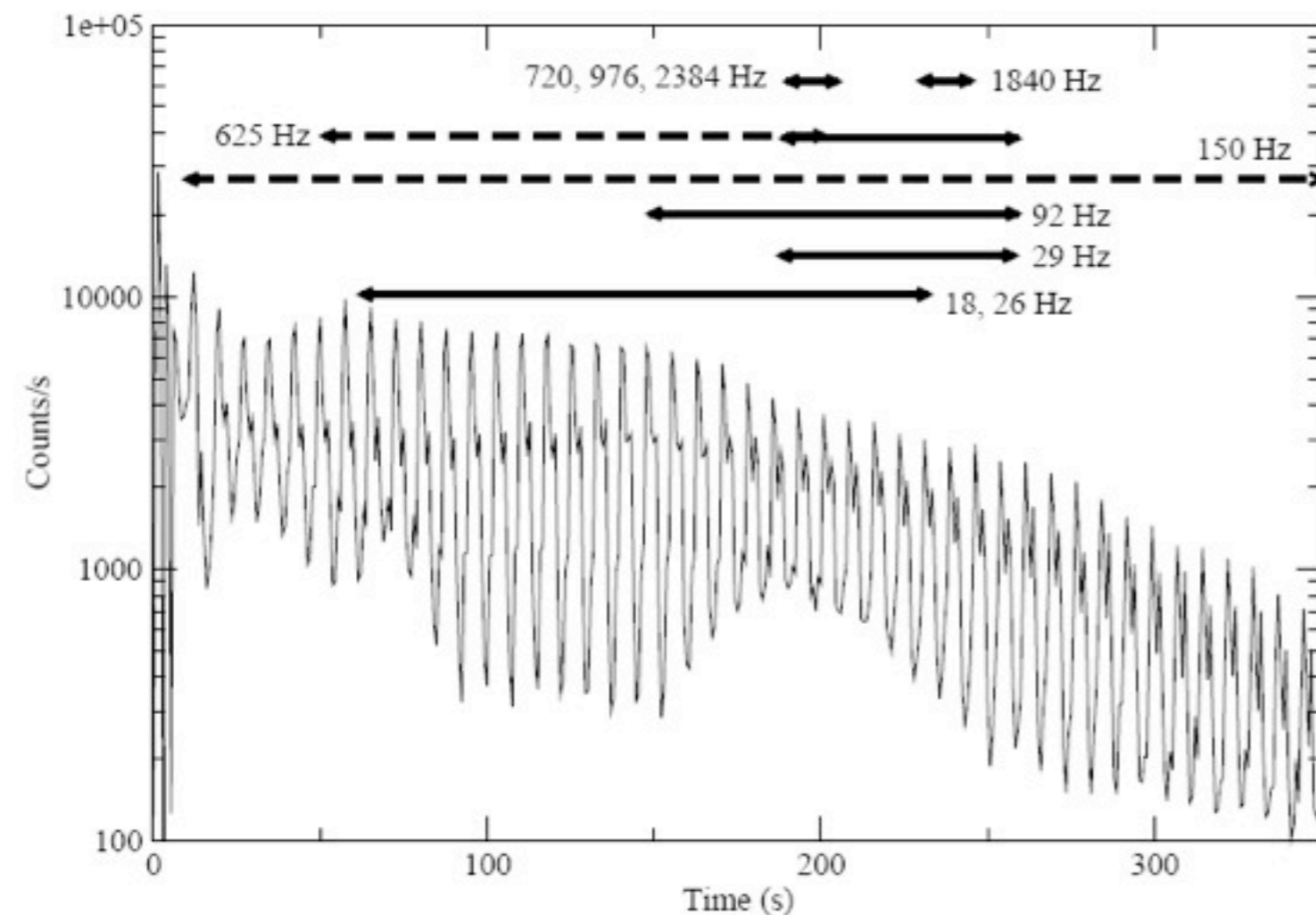
**マグネターの観測は地上では到達できない強磁場
極限物理を調べる宇宙の実験室！**

(Harding+97; Enoto+10; Takata+12)



マグネターと原子核物理の関わり

- マグネターが $B \sim 10^{10-11}$ T もの磁場をどのように保持するのか？
- 観測的に未開拓の分野であり、他の中性子星と違い、
 - “質量”も“半径”も観測的に不明。
 - 巨大フレアからの準周期振動の検出も活用 (Israel+05, Sotani+08)
 - X線アウトバーストは星内部+磁気圏の「新しい」診断手法？



まとめ

- 通常の中性子星より2-3桁も磁場の強いマグネターは、銀河内に予想以上に多く存在し、その磁場の起源、内部構造、エネルギー放射の理解は天文学と核物理の両面で重要である。
- X線衛星「すざく」により、マグネターのハード成分(10-100 keV)の観測とX線アウトバーストの観測事例が増えている。14年打ち上げのASTRO-Hによる更なる進展が期待できる。
- 通常の中性子星とは異なるマグネターの特徴は、質量・半径の推定とは別の方法(e.g.,熱伝導)でも、星内部の診断を行える可能性を秘めている。

日本天文学会 天文月報 7月号 「硬X線によるマグネター研究の進展 ~宇宙で最強の磁石星?~」

Google で “天文月報”、”マグネター” で検索

http://www.asj.or.jp/geppou/contents/2012_07.html