

MAXI で検出されたGX 304-1の大アウトバースト時の「すざく」とRXTEによるサイクロトロン共鳴線の発見

○山本堂之、三原建弘、杉崎陸(理研)、中島基樹(日大)、山岡和貴(青学大)
ほかMAXIチーム

<http://maxi.riken.jp/>

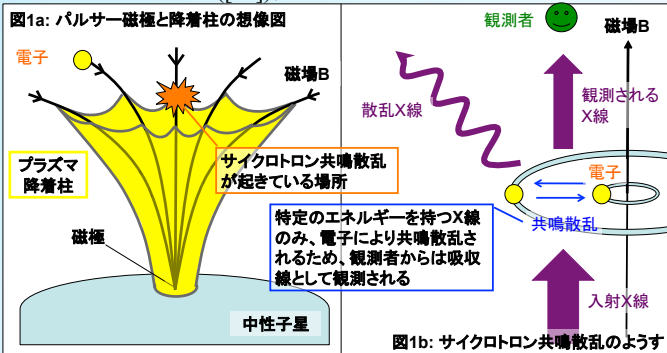


第11回宇宙科学シンポジウム P1-081

MAXIは2010年8月に連星X線パルサーGX304-1から大アウトバーストを検出した。これを受けてMAXIチームは「すざく」とRXTEにTOO観測を要請し、両衛星ともそのスペクトル中に84keVのサイクロトロン共鳴構造を発見した。これによりGX 304-1の表面磁場は $4.7e12$ Gaussと求められた。また、光度減少とともに共鳴エネルギーも下がっていく現象も見られた。

1. Introduction

強磁場中性子星の表面磁場強度を精度良く求める方法のひとつにX線スペクトル中に現れる**サイクロトロン共鳴散乱現象**を用いた方法がある([11])。



サイクロトロン共鳴エネルギー E_a と $E_a = 11.6 \times B_{12}$ (keV) の中性子星磁場には関係がある

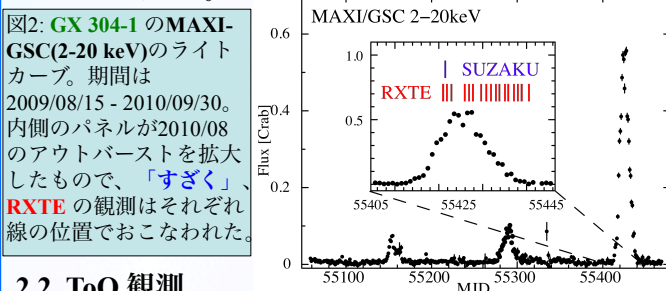
- サイクロトロン共鳴吸収線がある天体 → 20 例弱
- 表面磁場強度は $B = (1-4) \times 10^{12}$ G に集中([1],[2],[3],[4],[7])
- $B > 4 \times 10^{12}$ G ($E_a > 50$ keV)のX線パルサー：観測例少
- マグネター($B > 10^{14}$)の存在を考えると、 **$E_a > 50$ keVのサイクロトロン共鳴吸収線の検出が難しいことによる選択的なものである可能性が高い。**

2. Observation

2.1. GX 304-1

GX 304-1はその名前(Galactic X-ray source)が示すように、古くから知られたX線パルサー天体で、パルス周期は272秒、軌道周期は132.5日である。1970年代は明るく、軌道周期ごとに20日程度のアウトバーストを起こす活発な天体であったが、1984年のEXOSAT衛星の上限値の観測以来、長らく静穏な状態が続いていた。

しかし2008年6月にINTEGRAL/IBISによりおよそ28年ぶりに増光が検出され([12])、伴星が再び活発な状態になったことが示唆された。**MAXI**では132日の軌道周期に同期したアウトバーストを2011年1月現在までに4回検出している。そのなかで、2010年8月のアウトバーストは**MAXI/GSC(2-20 keV)**において最大で500 mCrabに達する観測史上最大のアウトバーストであった。



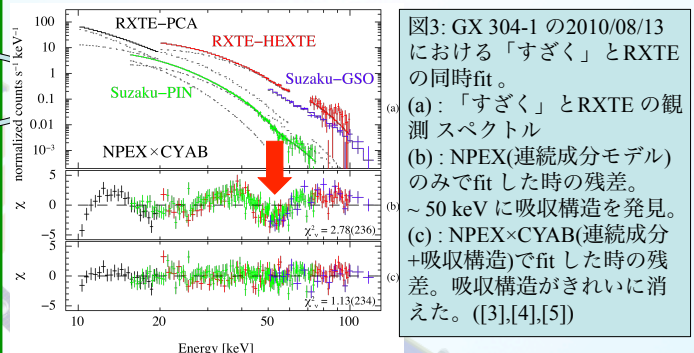
2.2. ToO 観測

2010年8月9日、MAXI/GSCにより**GX 304-1**からの急増光が確認された([13])。我々は**サイクロトロン共鳴吸収線**を検出することを目指し、「すざく」とRXTEに緊急観測提案(ToO)をおこなった。その結果、「すざく」は8月13日に20 ksec、RXTEは8月13日から9月1日までに計20回47 ksecの観測をおこなった。

3. Analysis and Results

3.1. 「すざく」とRXTEの観測データからのサイクロトロン共鳴吸収線の発見

「すざく」**HXD-PIN**(15-75 keV)、**HXD-GSO**(50-130 keV) RXTE PCA(10-20 keV)、**HEXTE**(20-100 keV)を同時fit ※HEXTE 61-71 keVはBGDの問題によりignoreした。



53.7 keVにサイクロトロン共鳴吸収線を発見！

Model	A_1	α_1	$A_2 (\times 10^{-9})$	kT (keV)
NPEX	2.22 ± 0.24	0.98 ± 0.05	118.6 ± 4.1	6.3 ± 0.02
NPEX×CYAB	$0.60^{+0.08}_{-0.06}$	$0.43^{+0.04}_{-0.05}$	$51.5^{+7.9}_{-10.0}$	$7.4^{+0.3}_{-0.2}$

表1: GX 304-1の「すざく」とRXTE同時fitのBest-fit parameters。	E_a (keV)	W_1	D_1	χ^2_ν
	53.7 $^{+0.7}_{-0.6}$	9.9 $^{+2.3}_{-2.0}$	0.73 $^{+0.10}_{-0.07}$	1.13(235)

3.2. サイクロトロン共鳴吸収エネルギーの変化

RXTEはアウトバーストのピーク前から暗くなるまで観測している(図2)。

それぞれの観測における**X線光度 L_x とサイクロトロン共鳴吸収線のエネルギー E_a をplotすると正の相関を持つ事**がわかった(図4)。

X線パルサーでは、 L_x が中性子星全体のEddington光度(2×10^{37} erg/s)を超える場合には負の相関となり[9]、それ以下では正の相関となる([6],[7])事が示唆されている。今回のGX 304-1の結果はそれを支持する結果となった。

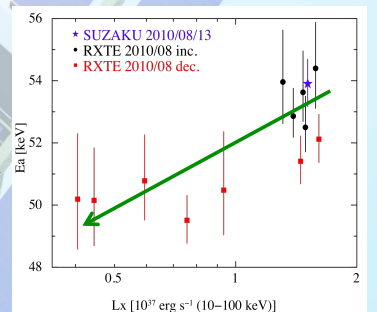


図4: RXTEの観測データにおけるGX 304-1の $L_x - E_a$ 関係の図。黒、赤はRXTE、青は「すざく」の結果。正の相関がみとれる。

4. まとめ

- GX 304-1**からのアウトバーストをMAXIにより検出し、「すざく」とRXTEにてToO観測をおこなった。
- 「すざく」とRXTEの観測データより、**~54 keVにサイクロトロン共鳴吸収線**を検出し、**中性子星磁場強度を $B = 4.7 \times 10^{12}$ Gと求めた**。これは観測されている磁場強度としては**最大級**である。
- RXTEの観測データより、正の相関となる **$L_x - E_a$ 関係**を得た。

References

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| [1] Trümper et al. 1978, Apj | [5] Makishima et al. 1999, Apj | [10] Staubert et al. 2007, A&A |
| [2] White et al. 1983, Apj | [6] Gruber et al. 2001, Apj | [11] 中島基樹 2007年6月, 天文月報 |
| [3] Mihara et al. 1990, Nature | [7] Coburn et al. 2002, Apj | [12] Manousakis et al. 2008, A&A |
| [4] Mihara et al. 1995, Ph.D. | [8] La Barbera et al. 2005, A&A | [13] Mihara et al. 2010a, A&A |
| | [9] Nakajima et al. 2006, Apj | |