

# X 線 バ ー ス タ ー

松 岡 勝\*

## 1. はじめに

1970年代に入ると X 線天文学の方法も衛星による長時間観測が可能になり、1960年代のロケット観測毎に目をみはることが発見されたと同じように、衛星毎に新しい現象が発見されるという歴史が繰り返えされている。ここで述べる X 線バースターもそのひとつで予想もしていなかった特異な現象であり、今の所その正体ははっきりしていない。

X 線バースターを最初に発見したのはソ連のグループでコスモス衛星により 1971年 40 keV 以上のエネルギーで2つの硬 X 線バースターを捉えた。しかしこの興味ある結果があまり注目されないまま ANS (オランダの X 線天文衛星) の NGC 6624 からの X 線バースト発見まで1年以上もうもれていたことは、不思議なことである。

ANS は球状星団のひとつである NGC 6624 に X 線検出器を向けて観測していた所2回短時間だけ爆発的に X 線強度が増すバーストが捉えられた。この発見により直ちにやはり奇妙な現象である  $\gamma$  線バーストとの関連が検討されたが、 $\gamma$  線バーストとは違うことがわかった。

ANS の報告を知った SAS-3 (小型天文衛星第3号) の MIT のグループはそれまでに観測した NGC 6624 のデータを見なおした所 ANS で捉えたと同じバーストを10回も観測していたことがわかった。しかも個々のバーストはほぼ3.4時間の周期で起っていた。

その後 X 線バースターは X 線天文衛星として強力な SAS-3 により精力的に観測がすすめられ 20 を越える X 線バースターが発見されている。また ANS, SAS-3 の他に X 線バースターは  $\gamma$  線バーストを発見したヴェラ衛星によっても OSO-8 によっても観測されている。

## 2. X 線バースターあれこれ

X 線バースターは既に 20 余り発見されており、このうちいくつかをとりあげて観測の特徴を紹介する。

### (1) 3U 1820-30 (NGC 6624)

X 線バースターとして初めて詳しく観測されたものでその方向に球状星団 NGC 6624 が同定されている。以下その特徴を列挙する。

a) バーストの繰り返えしに 3.4 時間 (4% 以内のジッターあり) の周期性がみられるが、バーストが消える4日前頃から周期が減少することがあった。

b) X 線バーストは定常の X 線強度が弱いときに起り、強いときには起らない。

c) 各バースト立上りのスペクトルは軟 X 線が硬 X 線に先行する。

d) バーストのテールの伸び方に変化がみられる。バーストを安定に出しているときはテールがあり、バーストが消える前になるとテールがなくなるようである。

e) NGC 6624 の距離を 5 kpc とすると1回の X 線バーストで出すエネルギーは約  $10^{38}$  erg である。

### (2) MXB 1835+05 (Ser X-1)

X 線バースターの中で定常な X 線が観測されているものはまだ6つしかない。NGC 6624 で述べた定常の X 線強度が弱くなった時にバーストが起るとい現象は全ての X 線バースターに適用されるものではなく Ser

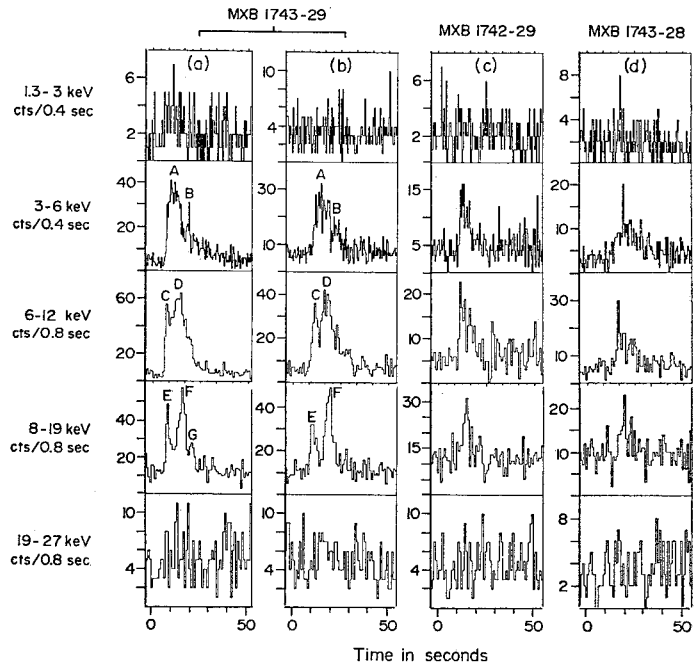


図1 銀河中心附近の3つの X 線バースターのプロファイル例。エネルギーは5つに区分されている。[Lewin et al. Ap. J. Preprint].

\* 東大宇宙研 M. Matsuoka:  
X-Ray Bursters.

X-1 として知られた X 線源からのバーストはその間隔も 1.4 時間から 38 時間にわたって一定しておらず、バーストの間隔と定常 X 線強度との関連はみられない。またこのバーストにはピークが 4 秒ぐらい離れて 2 つあるものもある。バーストの山が 2 つ 3 つに分れているものは他に MXB 1730-335, MXB 1728-34, MXB 1743-29 (図 1) にもみられる。

### (3) 銀河中心近くの 3 つの X 線バースター

銀河中心の  $0.7^\circ$  以内に 3 つの X 線バースター MXB 1743-29, MXB 1742-29, MXB 1743-28 が発見されている。どのエネルギースペクトルも 3 keV 以下がカットされているため、この 3 つは銀河中心付近にあって濃いガスを通ってきていると考えられる。またそれぞれのバーストの間隔は 1.46 日, 0.55 日, 10 分である。定常的に存在する X 線源としては 3U 1743-29 があり, 3 つのバースターを包む大きさをもっている。但しこれは 1 つの X 線源が大きく広がっているというよりいくつかの X 線源の集合と考える方が素直であろう。X 線バースターも上に述べた 3 つより数が多いものと考えられる。尚バーストのエネルギーは 1 個当たり  $(2\sim 5)\times 10^{38}$  erg である。

MXB 1743-29 のバースターのプロフィールをみるとエネルギーの低いテールが 30~40 秒間も伸びていることがみられる (図 1)。また 2 重, 3 重のピークも持っている。この 2 つの現象は X 線バースターのある条件で起る一般的なことと考えられる。

### (4) MXB 1728-34

これはバーストした後で X 線強度が増え, この傾向は

SAS-3 OBSERVATIONS OF RAPIDLY REPETITIVE  
X-RAY BURSTS FROM MXB 1730-33 5  
24-minute snapshots from 8 orbits on March 2/3, 1976

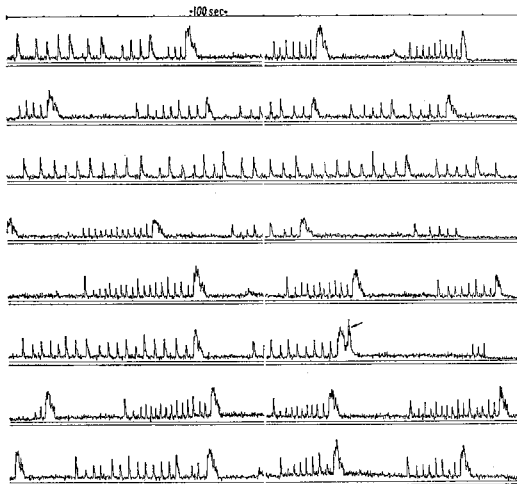


図 2 ラピッドバースターの例。 [Lewin, Texas Symp. 1976-12].

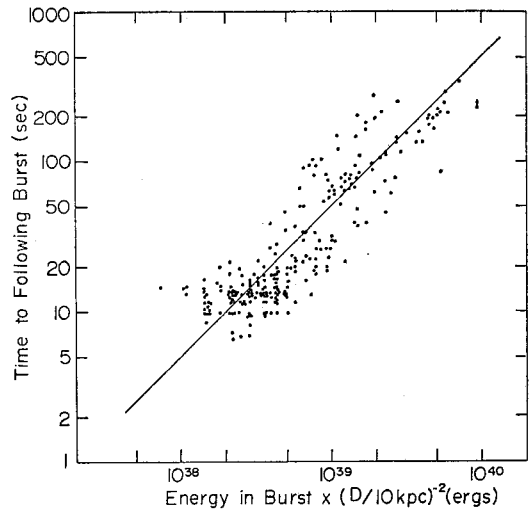


図 3 バーストのエネルギーとバースト間隔関係。 [Lewin et al. Ap. J. Letters 207 (1976), L95].

軟 X 線程強い。この現象はバーストのテールが極端に長く (約 2 分間) 伸びているとみなすのか, 定常 X 線 (3U 1727-33) の強度がバースト後暫く増加するとみなすのかどちらにも解釈できる。バーストのスペクトルは黒体放射に最もよく合い, バーストのはじめの 6 秒までは  $3\times 10^7$  °K の温度に, その後だんだん温度が低くなり 13 秒後には  $2\times 10^7$  °K 程度になる。

### (5) MXB 1636-53 (Nor X-1)

MXB 1728-34 と同じようにバーストのエネルギースペクトルが黒体放射によく合うものとして MXB 1636-53 がある。立上って 1~2 秒で温度が上昇し 3~5 秒で最高温度  $3\times 10^7$  °K の黒体放射のスペクトルになる。その後徐々に温度を下げ 50 秒で  $10^7$  °K 程度になる。

このバースターは Nor X-1 (3U 1636-53) という定常の X 線源と同じと考えられ, そのスペクトルは黒体放射よりも  $6.6\times 10^7$  °K の高温プラズマの熱放射のスペクトルの方がよく合う。定常の X 線強度は平均すると, か

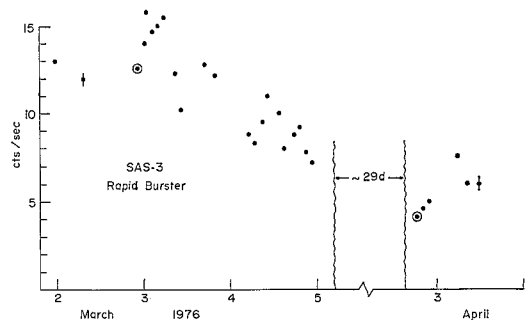


図 4 ラピッドバースターのバーストを約 100 分間平均したものの時間変動。 [Lewin, Texas Symp. 1976-12].

に星雲の1/10の強度であるが約2倍の変動をしている。またバーストの間隔は約10時間であるが、バーストの起るときと定常X線強度との関係ははっきりしない。

(6) MXB 1730-335 (ラピッドバースター)

図2にはラピッドバースターと呼ばれるMXB 1730-335のバーストの一例が示してある。大きなバーストが起ると長い間隔を置いて次のバーストが起り、小さなバーストは間隔が短い。この様子は図3にあるようにバーストの強度とバーストの間隔の関係から明らかな法則性がある。但しこの関係も例外があって図2の矢印をつけたバーストは異常と考えられ、これまでにいくつかみつかっている。また図4はバーストのエネルギー放出量を衛星の公転の時間(約100分)で平均した時間的変化を示したものである。バーストのエネルギー放出量は2日間で1/2にも落ちていることがわかる。このバーストの平均エネルギー放出量が大いときは個々のバーストのプロファイルにバリエアティがあって大きいものと小さいものが混在している。所が平均エネルギー放出量が小さいときは大きな幅の広いバーストがなくなり、従ってバースト間隔の長いものが少なくなる。尚4月5日から28日の間にバーストは出なくなった。ラピッドバースターはかなり長い休止期間があるようである。

このラピッドバースターは他の平均的なX線バースターと比べるとバースト間隔が極端に短い例外的なものと考えられる。

3. X線バースターの特徴と分布

これまでみてきたようにX線バースターは個々で性質が異なるが共通していえることは次のようである。

- (1) 立上りが1~2秒以下である。
- (2) 数秒の持続時間がありバーストの減衰のテールは1~2分持続する場合もある。
- (3) バーストの繰り返しは準周期的におこることが多い。その間隔は数秒から1日程度である。

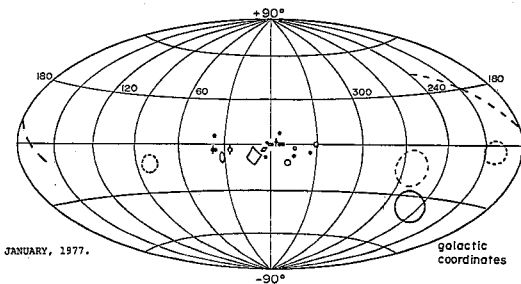


図5 X線バースターの分布。点線で示したものと丸に線をつけたものは1回しかバーストが観測されていない。  
Lewin et al. Nature (1977).

表1 X線バースターの銀緯分布

b <sup>II</sup>	SAS-3		OSO-8		球状星団の数
	観測日数	X線バースターの数	観測日数	X線バースターの数	
≤20°	108	9	71	13	~75
>20°	207	1	34	0	~45

表2 |b<sup>II</sup>|≤20°の中にあるX線バースターの銀経分布

l <sup>II</sup>	SAS-3		OSO-8		3UカタログのX線源	球状星団の数
	観測日数	バースター数	観測日数	バースター数		
0°-60°	43	8	14	9	53	~71
60°-120°	32	1	32	1	29	5
120°-180°	32	0	25	1	15	2

- (4) バースターには休止期間があるものが多い。
- (5) スペクトルの急な変動がある。通常は減衰時に軟いスペクトルになって行く。
- (6) 平均のバーストのスペクトルは定常のX線のスペクトルよりも硬い。
- (7) 定常とバーストの平均X線の放出量の比は通常100程度である。L<sub>ST</sub>/L<sub>B</sub>~100,
- (8) バーストのエネルギー量は10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup> erg/cm<sup>2</sup>。
- (9) ピーク時の単位時間当りのエネルギー放出量は距離を10 kpcとすると10<sup>38</sup>~10<sup>39</sup> erg/secである。
- (10) X線バーストの分布はこれまでの定常X線源や球状星団の分布に合わない。
- (11) ラピッドバースターは最も激しく他のバースターと比べて特殊なものである。

γ線バーストを発見したヴェラ衛星によるX線データやウフル衛星のデータのみをおしをやった所上記の基準に合うX線バースターがあることが確認されている。ここでは基準がはっきりしている18個のX線バースターの分布についての性質を述べる。

図5には上記の基準に合う18個のX線バースターとバーストが1回しか観測されていない7個のX線バースター(?)がプロットしてある。図からわかるようにX線バースターは銀河面しかも銀河中心の方向に集中している。観測時間が全ての方向で一樣でないため表1と表2に観測時間を併記した。この表からわかるようにX線バースターは|b<sup>II</sup>|<20°と|l<sup>II</sup>|<60°に集中している。これに対して通常のX線源は銀河中心方向に多く集まっているとはいえX線バースターの比ではない。従ってX線バースターは通常のX線源(主として中性子星や白色矮星をもつ連星系と考えられる)そのものと直

接関連しているものではなく、銀河中心附近に形成されやすい天体である。

初期に発見された X 線バースター 3U 1820-30 が球状星団 NGC 6624 に同定されたためバースターは球状星団と深いつながりがあると考えられたが、次々に発見されるバースターをよく調べてみると球状星団は X 線バースターの一部ではあるが全てではない。つまり 18 の X 線バースターのうち球状星団に一致しているものが 2 個、X 線位置決定の誤差内に球状星団があるものが 2~3 個しかない。しかも表 1, 2 からわかるように  $|b^{\text{III}}| < 20^\circ$  にある球状星団と  $|b^{\text{III}}| > 20^\circ$  の球状星団の分布は X 線バースターの分布と全然似ていない。

X 線バースターで定常に X 線を出しているものは 5 個ある。定常 X 線の単位時間当りの発生率の平均 ( $L_{st}$ ) はバーストを平均化したときの単位時間当りの発生率 ( $L_B$ ) に比べて圧倒的に強く  $L_{st}/L_B \approx 100$  である。しかしラピッドバースターは例外で  $L_{st}/L_B \leq 2$  である。但しこれも長い休止期間があるため長時間にわたって平均化すれば  $L_{st}/L_B$  はもっと大きくなるかも知れない。定常 X 線が観測されているバースターで、そのスペクトルをみるとバースト時のスペクトルの平均は定常の X 線スペクトルよりも硬い。つまりスペクトルはねている。このことは Cyg X-1 や Sco X-1 のフレアでみられるようにフレア時とその前後のスペクトルがあまり変わらないことと比較され、X 線バースターはこの種のフレアとも考えにくい。しかし Cyg X-1 の速い変動のプロファイルは X 線バースターに似ていることもあって単純な結論は許されないかも知れない。

#### 4. X 線バースターはどんな天体か

X 線バースターは現象的に  $\gamma$  線バースターと一見似ているが次のような相違点がある。

1)  $\gamma$  線バーストのプロファイルは初めにはプリカーサーがあってその後 20~30 秒間 1 秒程度の周期でパルセーションし、少なくとも 1 年以内のタイムスケールでは 1 回切りの現象である。これに対して X 線バースターは 10 秒程度のバーストが暫くおいて繰り返し起り、プロファイルに深い切れのパルセーションはみられない。

2)  $\gamma$  線バーストは 10 keV 程度から MeV までスペクトルが伸びている。そしてそのスペクトルは  $2 \times 10^8$  °K 程の高温プラズマの熱輻射に合うものが多い。ところが X 線バースターの多くは 20~30 keV までで MeV 領域の  $\gamma$  線までは伸びていない。

3) これまで X 線バーストが起ったときヴェラ衛星の  $\gamma$  線バースト検出の規準にひっかかったものがない。即ち  $\gamma$  線バーストのエネルギー流量は  $10^{-6}$  erg/cm<sup>2</sup> 程度であるが、X 線バーストは  $10^{-7}$  erg/cm<sup>2</sup> と小さい。

4) 多くの X 線バースターは銀河中心附近に集中しているが  $\gamma$  線バーストはほぼ全天に一様に分布している。

$\gamma$  線バーストは 300 pc 以内の近い天体と解釈されているが、X 線バースターは数 kpc~10 kpc の遠い天体と解釈するのが自然であろう。こうして X 線バースターと  $\gamma$  線バーストは同一の天体ではないと考えられる。

それでは X 線バースターは何物なのか、これには 2 つの考え方がある。第 1 に中性子星にガスが accrete するときプラズマが中性子星の磁気圏で不安定性を起すときにバーストがでるとする解釈である。第 2 はブラックホールにガスが accrete して形成する disc の不安定性によってバーストがでるとする解釈である。これらは一般的な X 線源の解釈でもあるが、上でみてきたバーストの現象を説明するには更に何らかの特殊な条件を追加しなければならないだろう。

X 線バースターの中にはまだ連星系のものが確認されていないことと、中性子星の自転によるパルサーが確認されたものがないことから X 線源の特殊なものと考えられる。例えば  $\sim 100 M_\odot$  程度のブラックホールを考えればガスの accretion の割合も少なくすむので連星系でなくともまわりの星間ガスによっても X 線が出せる。しかしそれでも 10 km 程度の場所に  $10^3 \sim 10^4$  秒の長時間にわたって比較的コヒーレントにバーストを出せる機構は考えにくい。ここで 10 km のサイズはバーストのエネルギースペクトルが黒体輻射に合うことから距離を 10 kpc と推定して出したものである。

X 線バースターを明らかにするために観測的には、ひとつの星に光学的に同定することや、連星系ないしは自転的にパルサーをもったものがあるかどうか調べるなど今後に期待することが多い。

本年 6 月~7 月に SAS-3 による X 線バースターの観測と同時に光・電波による観測が世界的に行われた。この結果まだ特別なニュースは入っていないが何らかの発展を期待したい。また 1979 年に予定されている日本の科学衛星 CORSA-b では X 線バースターを精密に観測する装置に改良された。この魅力的な天体の解明に我が国も寄与できることを期待したい。

訃報 本会会員 野尻抱影氏は 1977 年 10 月 30 日午前 2 時 45 分、92 歳の御高齢で逝去されました。本誌は、昨年的一年間、往年のままの名筆を寄せていただいた記憶がなお鮮明です。先生の筆によって星の世界への目を開いた多くの会員諸氏とともに、心より御冥福をお祈り申し上げます。