



Title	X線天文学の話題
Author(s)	常深, 博; 宮本, 重徳
Citation	大阪大学低温センターだより. 1985, 49, p. 1-4
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/9127">https://hdl.handle.net/11094/9127</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## X線天文学の話題

理学部 常深 博, 宮本 重徳(豊中4135)

X線天文学が始まってから20余年、日本がX線観測衛星を持ってから5年余りになる。現在のところ、稼働しているX線衛星は、日本の「はくちょう」、「てんま」と、欧州のEXOSATだけである。特に、最近誕生した「てんま」は、その優れたエネルギー分解能を生かして新たな発見を続けている。以下、X線天文学の最近の話題の一部を、簡単に紹介しよう。

X線星とは、中性子星と普通の星（所謂、主系列星で、伴星と呼ぶ）との近接連星である。伴星から放出された物質が、中性子星に捕えられ、降着する際に、重力エネルギーが熱エネルギーに変換され、1億度程度のプラズマになる。これからの熱ふく射は、X線領域に主として出て来ることになる。中性子星は、半径が10km程度、質量が太陽質量よりも少し大きい程度、と見積られているので、核子一個が中性子星表面まで落ちたときに解放される重力エネルギーは、100 MeV程度にもなり、核融合反応の場合よりも一桁大きい。

近接連星をなすX線星は、伴星の質量が太陽のそれの数倍以上のもの（大質量連星系）と、太陽質量程度のもの（小質量連星系）との二種類に分類される。星の進化の理論によれば、質量の大きい星ほど進化の速度が速い。従って、大質量連星系の中性子星は、年齢が若く、小質量連星系の中性子星は、平均として年とったものと考えてよい。一方、中性子星は、主系列星の進化の終えんで、超新星爆発を起こした場合に形成されると考えられている。この時、主系列星の表面で100 Gauss程度の磁場は、超新星爆発後には磁力線が凍結されたまま縮まるので、形成されたばかりの中性子星の表面の磁場は、 $10^{12}$  Gaussにもなり得ることがわかる。又、角運動量保存から、その自転周期は大変短くなる。しかも、自転軸の方向と、磁極の方向とは一般に一致することはあるまい。このような若い中性子星に、伴星から物質が降着すると、それは磁場に捉えられて、中性子星の磁極の近傍でエネルギーを失う。さらに、若い中性子星では、その中心部は高温で、従って、表面に物質が蓄積されても温度は十分高く、次々に核融合反応を起こし、重い原子核に変換されてしまう。又、磁力線方向の熱伝導率が良いために、能率よくそのエネルギーをふく射の形で失う。そして、磁極付近の強いX線発生場所が、中性子星の自転につれ、見え隠れする時、X線パルサーとして観測されるわけだ。X線パルサーは、その強度がパルス状に変化するもので、 $10^{-3}$  secから $10^3$  sec程度の周期を持っている。こういう連星系は、それを構成する二星の質量を調べるのに好都合であり、観測されたX線パルサーの質量は、大体太陽の1.4倍程度であった（図-1）。この値は、理論的に予想される中性子星の質量（図-1の斜線部分）にほぼ一致する。

中性子星も、誕生してから時間が経つと、その磁場も弱くなり、やがて磁極の方向も自転軸と一致するようになる。こうなると、X線強度は降着物質の量だけで決まるので、パルサーのように速く変

動することなくなる。そして、水素を主成分とする降着物質は、中性子星表面で徐々に核融合反応を起こしてヘリウムに変わる。

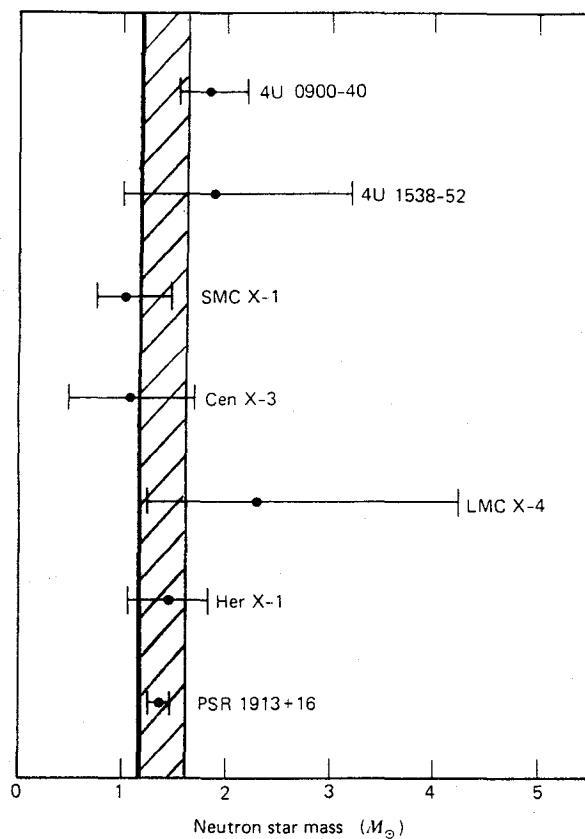


図-1 X線パルサーの質量の測定値と、理論的に予想される中性子星の質量（斜線部分）。

ところが、年取った中性子星では、中心部も冷えており、降着物質はそれ以上の核融合反応を起こさない。また磁場がなくなり熱伝導率も悪いので、降着物質の量がたまつくると、ヘリウム層の温度が上昇し、それまでに蓄積されたヘリウムが短時間（1秒以内）の内に核融合反応を起こすことがある。これがX線バーストと呼ばれる現象と考えられている。

X線バーストの観測から分かったことは、その時々刻々のスペクトルが、黒体ふく射のそれとよく一致しているということである。このことからX線星までの距離が分かれれば、X線バーストを球状の黒体としたときの半径を知ることができる。X線バーストを起こすX線星は銀河中心に集中しているので、距離として銀河中心までとすればよからう。こうして、X線バースト発生源の半径を推定することができるが、観測から求まる半径は10～15kmとなる。これは、理論的に予想される中性子星の半径と大変よく一致している（図-2）。つまり、X線バーストとは、どうやら、中性子星表面でのヘリウムの燃焼であるらしい。

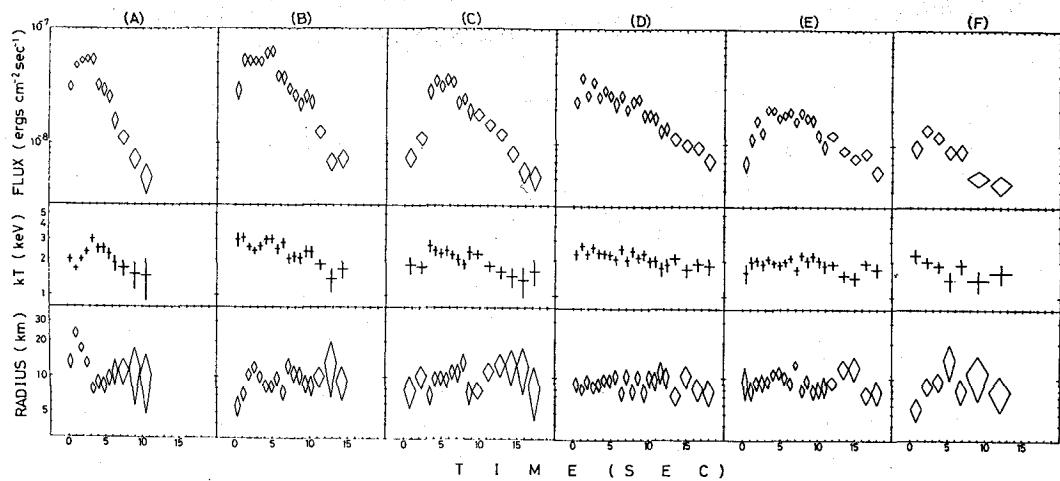


図-2 X線バーストの強度と、発生領域の半径の時間変化（はくちょう）

X線バーストが起こると、その強度は通常の100倍にもなる。ところで、星からの総ふく射量はいくらでも強くなることはない。ふく射がどんどん強くなると、ふく射圧も強くなり、やがて重力を凌駕する。こうなると、物質はたちまちにして吹き飛んでしまう。観測されるバーストの持続時間は、中性子星からふく射圧で物質が吹き飛ぶ時間よりも十分に長い。従って、最大ふく射量は、重力で決まる限界値（エディントン限界値）を超えることは出来ない。ところが、「はくちょう」の観測により、銀河中心付近にかたまっているX線バースト源からは、どうもこのエディントン限界値を超えた量のふく射が出ているらしいことがわかった。エディントン限界値は、質量だけで決まるので、理論的に予想される中性子星の質量では、とうていX線バーストを説明し切れないということである。これはふく射輸送の仕組みについて、新たな考えを必要としているのかもしれない。別の解釈としては、銀河中心までの距離が既知の値と違っているということでもあり得る。いずれにせよ、これは「はくちょう」の発見した、天文学に及ぼす影響の大きい、新たな疑問である。

質量が太陽くらいもあり、その半径がたった10km程度の中性子星の表面では重力が大変強く、そのために、そこからのふく射に大きな影響を与える。最も簡単に分かるのは、ふく射に線スペクトルの含まれる場合である。この場合には、重力による赤方偏移が生じ、その大きさは、中性子星の質量を太陽の1.4倍、半径を10kmとすると、20%程度になる。これまでのX線検出器では、これを検証するのに必要な線スペクトルを検出出来るほどの性能はなかった。「はくちょう」の後継機である「てんま」は、世界で初めて螢光比例計数管を搭載したが、そのエネルギー分解能は従来のものよりも二倍程度優れている。これまでに「てんま」により幾つかのX線バーストを観測しているが、そのなかに吸収線と思われる構造を検出している（図-3）。これは、X線バーストの強度が減衰するときに顕著に見られるものであるが、その中心エネルギーはだいたい4.1 keV、さらに5 keV付近には吸収端と思われる構造もみられる。中性子星表面での核融合の過程を考えると、吸収物質としては鉄が最も有力である。そこでこの吸収が、高階電離した鉄による吸収線の赤方偏移であると解釈すると、理

論的に予想される大きさの2-3倍にもなる。即ち、観測から要請されることは、中性子星の半径が、理論で予想されるよりも十分小さいか、或は、中性子星の質量が、十分大きいということである。中性子星の半径とその質量について、ここでも新たな疑問点が提出されたわけだ。

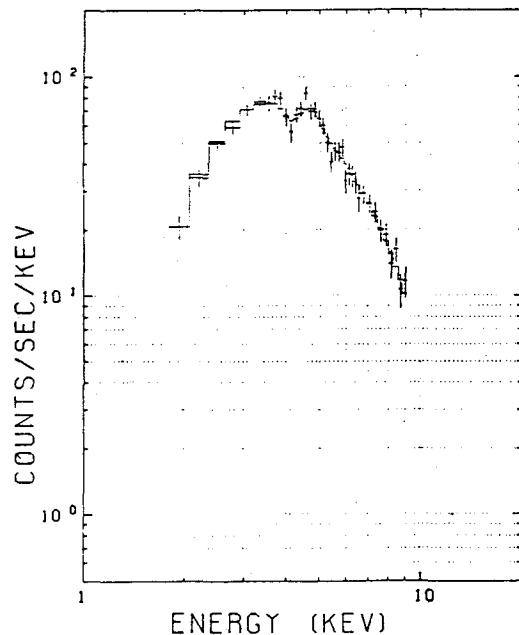


図-3 X線バーストのスペクトル。4.1 keV付近に吸収が見られる(てんま)。

約50年前に、初めて理論的に考えられた中性子星は、到底観測出来るものとは見なされなかつた。それが、X線天文学を通して初めてその性質が理解されるようになった。そうなると、中性子星の質量やら、半径やらに色々問題点が出て來た。これは、超高密度状態に於ける核力等を通して、現在の物理学に新たな問題を提起しているといえる。まだまだ、日本のX線観測衛星たちには働いてもらわなければならぬ。