



研究ノート

## 中性子星表面での核爆発 —— X線バースト ——

宮本重徳\*

中性子星と呼ばれる、太陽程度の質量が、半径10キロメートル程の球になっている星の研究をしているという、ほとんどの人は、なんとまあ浮世ばなれをした研究をしている人があるものだ、という顔をされる。またすべてのものを吸い込んでしまうブラック・ホールの観測をしているという、中学高校生は目を輝かせて、ブラック・ホールのお話を聞きたいという。私は中性子星とか、ブラック・ホールのような小さな重い星が、X線を出す現象を、ロケットや人工衛星を用いて観測し、研究している。新春号なので一ぱい気分、夢のような浮世ばなれをした話をお読み頂きたい。

大量にX線を出している星の大部分は、上に述べた中性子星やブラック・ホールと普通の星とが、星の大きさ位の距離に近接した連星（二重星）となっている。普通の星より、吹出した物質が、これらの小さな重い星にふりかかり、小さな星の表面付近で、物質の重力エネルギーが熱エネルギーに変り、高温のプラズマとなって定期的にX線を出していると考えられている。中性子星が重くて大変小さいために、この時解放される重力エネルギーは、水素原子1個当たり100 MeV 位になる。この値は、水素が核融合反応によりヘリウムになる時、水素原子1個当りに解放されるエネルギーの、10倍以上である。中性子星の表面では、核エネルギーよりも重力エネルギーの方が、大きな効果を持つのである。

重力の効果といえば、中性子星の表面では重力が地球の表面の $10^{11}$ 倍も強いので、もし中性子星に山があり、人が住んでいるとすれば、山

に住んでいる人は、低地の人と比べて早く年をとるといふ話がある。一般相対論によれば、重力ポテンシャルの低い所程、時計（固有時間）の進み方がゆっくりしており、したがって低地の人程長生きするというわけである。但しそうかといって低地の人にとり、仕事がたくさん出来るとか、たのしい時間が長いとかいうことでなく、心臓の鼓動も、頭の回転も、すべてゆっくりしているわけであるから、何もよいことはない。然し、たとえば、幼い息子を高地の別荘に送り、早く年を取らせて、自分のあとをつがせる等のことに利用出来るだろう。（中性子星表面には、そんなに高い山もなければ、人も住んでいませんが。）

この重力の効果は、観測にも利用出来る。中性子星の表面で発生した光の線スペクトルを中性子星より遠くはなれたところから見ると、その波長が長い方に15%程ずれているはずである。この現象は時計がおくれるのと同じように光の振動がおそくなっているのである。この現象は重力による赤方偏移と呼ばれている。残念なことに、X線星では、未だこの現象はみつかっていないが、ガンマ線バーストといって、約10秒間位ガンマ線が、急に宇宙のどこかから、多量に飛来する現象があり、このガンマ線の中に、電子と陽電子とが結合する時に生じる0.5MeVの線スペクトルを示す成分があり、これが、中性子星表面で生じたと思われる赤方偏移を示しているという観測がある。

話をX線にもどそう。重力エネルギーの解放により、X線星により定期的にX線が出ていると述べたが、X線を出したあとの物質が、その後冷えて中性子星表面に溜まり、数時間かかってある量に達すると爆発的に熱核反応を起し、約10秒間X線を出すことがある。これが、

\* 宮本重徳 (Sigenori MIYAMOTO), 大阪大学, 理学部, 物理学教室, 教授, 理学博士, 宇宙物理学

表題の「X線バースト」であると考えられている。もう少し詳しく述べると、以下のようなものである。中性子星表面に、水素を主成分とする物質が、均一に表面をおおって溜まり、その物質層の温度が次第に上昇し、水素がヘリウムになる融合反応を開始する。但しこの反応は、比較的低温では、炭素、窒素、酸素を触媒とする反応で、その反応の途中に、約100秒のベータ崩壊を経る必要があるため、急激に起り得ない。したがって、この反応では、「X線バースト」のような現象は起り得ない。水素がもえて、その底にたまったヘリウムは、今少し高温になると、急激に炭素・酸素その他の元素を作る融合反応を起し、これが「X線バースト」になると考えられている。

この現象は、約6年前に発見され、以後米国の天文衛星 SAS-3 により、数年間にわたり観測された。この SAS-3 の観測により、上に述べたような、「X線バースト」のモデルが確立したかのように見えたが、1979年2月末に誕生した、日本のX線天文衛星「はくちょう」による観測の結果、X線バーストは、これまで考えられていた程、簡単に、中性子星表面での、急激な熱核反応であるとはいえないことが、明かになってきた。

その理由の第1は、同じX線バースト源から、5分とか8分位の時間をおいて、「X線バースト」が起ることが、「はくちょう」の観測により数多くみつかったことである。前に述べたように、中性子星表面にヘリウムが溜まり、これが熱核反応を急激に起すのが、「X線バースト」であるというモデルでは、初の核反応の後にも、大量のヘリウムがもえ残って、短時間内に2回目の「X線バースト」を起すと考えねばならない。もし、中性子星表面近くに均一にたまった、ヘリウムの熱核反応が、多くのヘリウムを残して休止するとは、大変考えにくいのである。

第2は、「はくちょう」の観測から、X線バースト源の定常X線の強度が余り変らないのに、バーストの頻度や、バーストの波形(X線強度の時間変化)が大きく変ることが見出されたことである。前に述べたように、ふりかかる物質の重力エネルギーの解放により、X線星の定常X線が発生している。したがって、定常X線の強度は、その中性子星にふりかかる物質の量に比例する。「X線バースト」は、中性子星表面に溜まった、この物質の熱核反応であるのなら、バーストの頻度は、定常X線の強度が一定であれば、そんなに変わらないはずである。

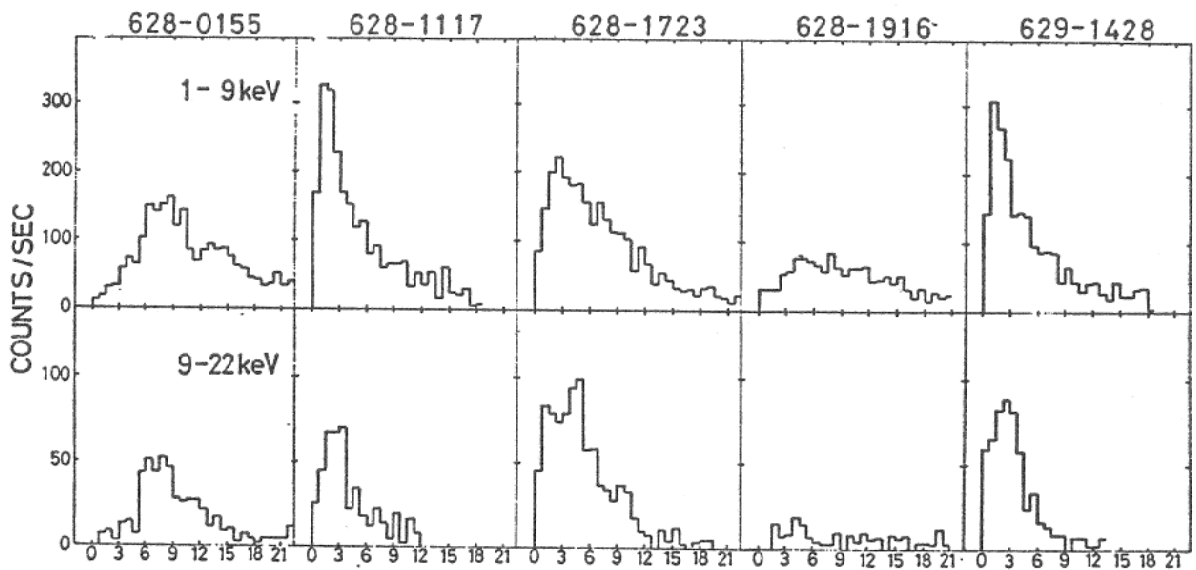


図1 MXB1636-53 と名付けられたx線バースト源よりのバースト。上部の番号の 628-0155 は、6月28日1時55分(世界時)のバーストという意味である。たて軸はx線のカウント数/秒、横軸は時間(秒)である。大変異なった波形のバーストが、同一のx線バースト源より出ていることに気付かれるだろう。

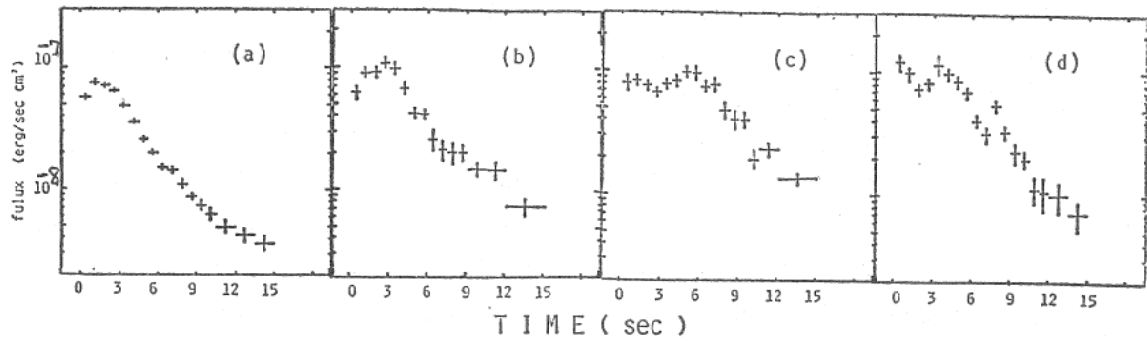


図2 MXB1728—34 (スロー・バースター) よりの  $x$  線バースト。(a)が普通のバースト。(b)は持続時間のやや長いバースト。(c)(d)は2山バースト。2山バーストは、2つのバーストが3秒～5秒位の時間をおいて生じたと考えてもおかしくない波形をしている。(波形の比較がしやすいように、たて軸は対数となっている。)

また、定常X線の強度が同じであれば、ほぼ同じような波形のバーストが発達してよいはずである。実際はくちょうの観測が始る前には、あるバースト源よりの「X線バースト」の波形は丁度指紋のように一定であるときえ、いわれていた。ところが同一のバースト源で、同じ時期でも、大変異なる波形のバーストが生じることがあることが「はくちょう」の観測により分った。図1には、そのようなバーストの例を示す。

第3は、2つ山のバーストがみつきり、そのうち MXB 1728-34よりの2山バーストは、図2に示すように、短時間の間に2つのバーストが生じたと考えてもおかしくないようなバースト波形をしている例のあることが分ったことである。

どうしてこのような現象が起るのだろうか。気の早い理論家の中には、X線バーストは、中性子星表面の核爆発のモデルでは説明出来ないのではないかと考える人が出はじめた。

この問題について私は次のように考え始めている。以下は、正月の放談であると思つて、まゆにつばをつけてお読み頂きたい。

中性子星表面に、均一に水素を主成分とした物質が溜るのは本当だろう。しかしその後が異なるのではないか。ヘリウムが均一に水素の層の底に溜まるのではなく、ところどころにヘリウムの溜め池が出来、この溜め池が、あちこちで急激な熱核反応を起して、X線バーストを生じているのではないかと考えるのである。

その理由は以下のようなのである。中性子星表面では、その強い重力のため、物質は電子の量子力学的な力—縮退圧—で支えられている。(中性子星のもっと内部では、電子の縮退圧では、その重さを支えきれず、中性子の縮退圧が、その重さを支えている。)したがって同一の圧力の所では、物質の密度は、電子1個当りの原子の重さに比例する。すなわち、(原子質量数  $A$ )/(原子番号  $Z$ ) の値が同じ物質は、圧力が同じ所では、密度がほとんど同じである。そしてこれら物質は大変粘性の大きな液体状であると考えられている。このため、中性子星表面のヘリウムや炭素の上に水素を流して、水あめの上に密度の低い油を流したように、表面を均一に水素がおおうが、炭素や珪素の上にヘリウムを流しても、丁度水あめの上に、赤い色の、同じ密度のあめを流したように、他の物質をおしよけてヘリウムはその場所にとどまっていると考えられる。

今もしも、均一に表面をおった水素の層の底の一部の温度が、他の部分より高くなり、そこで水素の融合反応により、ヘリウムが出来始めると、水素は体積が2分の1のヘリウムになり、このため、他の部分より水素が流れ込み、その場所での水素の融合反応は、持続するだろう。また、その場所は、融合反応による発熱のために、水素の融合反応は他の場所より起りやすく、ますますヘリウムが溜まるだろうと考えられる。

水素の、融合反応が、表面の一部で始ると、

その反応は、たちまち、中性子星表面全体に広がるのではないかと考えられるかも知れない。実は私も、始はそう考えていた。ところが計算してみると、その反応の広がりは大変おそいことが分った。その理由は前に述べたように、水素がヘリウムになる核融合反応は、ベータ崩壊により、反応速度が制限されており、ゆっくりしている。このために、反応の横に広がる速さが大変おそくなることが分った。

以上の考えから、現在私は、X線バーストは次のようにして起るのではないかと考えている。まず水素の多い物質が、中性子星の表面を均一に被う。この内、数カ所、温度の高い所で水素の融合反応が始り、上に述べた過程でヘリウムの溜め池が出来る。この溜め池のヘリウムの深さがある限度に達すると、急速にヘリウムの融合反応が起り、大きな爆発が起る。この爆発により、高温の物質は、中性子星表面より、

吹上げられ、その表面および上空をおおう。この高温物質よりのX線放射が「X線バースト」である。この一つの溜め池の爆発により、普通は他の溜め池のヘリウムに、火のつくことはないが、たまに近接した溜め池に火がつくことがある。これが、図2に示したような、2山バーストであると考えるのである。

以上は、実験家の推論である。まゆにつばをつけて読んで頂きたいと注意した所である。しかし私には、こんな現象がおこっているのではないか、と思えるのである。これを確かめるには、もっと大きなX線検出器で、感度を上げて、またもっと低いエネルギーのX線まで観測することである。これにより爆発による物質の吹上げの様子や、爆発した溜め池が、中性子星の回転により見えかくれするのが、観測出来るのではないかと、考えている。