

●●●●あの論争は…いま？ (2) ●●●●

## ガンマ線バーストの正体は何か？

### *What are Gamma-Ray Burst Progenitors?*

井岡 邦仁

〈京都大学大学院理学研究科物理学第二教室 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: ioka@tap.scphys.kyoto-u.ac.jp

論争の種：ガンマ線バーストの正体

論争のはじまり：1967年から現在まで

主な対立説：重い星の崩壊説，連星中性子星の合体説

現在有力な説：Long GRB は重い星の崩壊，Short GRB は???

宇宙最大の爆発，ガンマ線バースト（以後GRB）とは宇宙のどこかで1日に2,3回ほど起こる，水素爆弾を10の30乗ほど集めたぐらいの爆発である<sup>1)</sup>。ガンマ線が数秒ほどやってくるのでGRB (Gamma-Ray Burst の略) と呼ばれる。その明るさは宇宙で最も明るく，宇宙に存在するすべての星を足してやっとその明るさになるぐらいである。つまりGRBは宇宙で最も激しく明るい現象である。一体GRBの正体は何であろうか？これが今回の話である。

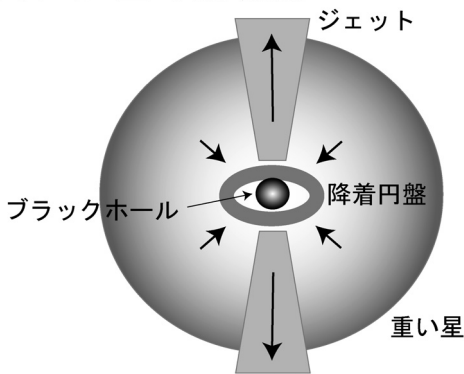
GRBは1967年に偶然発見された。時は米国とソ連（現ロシア）の冷戦時代。両国間で結ばれた大気圏外核実験禁止条約をソ連が守っているかどうかを監視するために，Vela衛星が打ち上げられた。核実験で発生するガンマ線をとらえる衛星である。ガンマ線は検出されたが，それは地球からではなく宇宙からやってくる。このGRBの発見は1973年まで発表されなかった。米国がソ連に軍事力を悟られるのを恐れたのだ。

発見後20年ほどGRBまでの距離すらわからないという状況が続いた。ガンマ線が数秒やってくるだけではほとんど手がかりがなかったのであ

る。距離がわからなければ見かけの明るさから本当の明るさを出せない。発見されたGRBの数を上回るほどの論文（2,000本以上）が書かれたが，主な焦点はGRBまでの距離であった。当時，最も有力だったのが銀河ディスクに存在する太陽近傍（約 $10^{21}$  cm）の中性子星説<sup>2)</sup>である。GRBが天空上等方に分布するのは，ディスクの内側にあるGRBを見ている証拠だと解釈された。一方，GRBが宇宙論的な距離（約 $10^{28}$  cm）にあるという説は，ガンマ線が電子陽電子対を生成して放射領域から出られないという，いわゆるコンパクトネス問題があるとして重要視されなかった。

1990年にコンプトン衛星と呼ばれる巨大なガンマ線衛星が打ち上げられた。多くの人は，この衛星によって遠くのGRBまで観測され，GRBが銀河ディスクに分布することが確認されるだろうと思っていた。ところが，得られた結果は相変わらず等方分布であった。しかも遠くの暗いGRBがより少ないこともわかった。つまり銀河ディスクの端が見えたにもかかわらず等方分布のままという矛盾が生じてしまった。最も有力であった銀河ディスクの中性子星説は否定され，事態は大混乱

## (a) 重い星の崩壊説



## (b) 連星中性子星の合体説

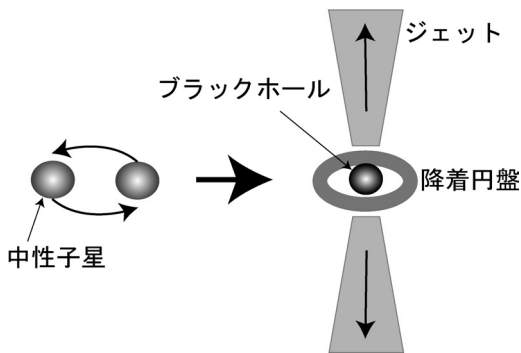


図1

に陥った。それまでの多数派は、中性子星が誕生時に大きな速度を得て遠く（銀河ハロー）まで分布するという説<sup>2)4)</sup>に乗り替えた。これにより宇宙論的距離説と同様にコンパクトネス問題が生じるにもかかわらず、まだ多くの人はこの説を信じた。

決着は1997年についた。BeppoSAX衛星がエックス線の残光（GRBの方向に残る、時間とともに冪的に暗くなる光）を発見し、その方向を精度良く決めたのだ。それにより光学望遠鏡で対応天体を探ることが可能になり、光学残光も発見された。そのスペクトルがとられ、吸収線の赤方偏移 $z=0.835$ からGRBの赤方偏移がそれ以上だということがわかった<sup>5)</sup>。つまりGRBは宇宙論的距離に存在したのである！距離が決定したことによって放出される本当のエネルギーが見積もら

れ、GRBが宇宙最大の爆発であることが確定した。コンパクトネス問題を回避するために、GRBが光の99.9999%以上の速度の相対論的な爆発であることも判明した。（これは電波の観測でも確認された。）

その後研究は爆発的に進んだ<sup>1)</sup>。中心エンジンからの放出物と星間ガスが相対論的衝撃波を起こしシンクロトロン放射することで残光をよく説明できることがわかり、残光の標準理論が確立した<sup>6)</sup>。GRB自体は中心エンジンからの放出物同士の衝撃波で作られることもわかった。残光が急に暗くなることから放出物がジェット状をしていることも判明した。また、ほぼすべてのGRBの方向に母銀河が見つかった。

距離が確定してGRBの二大候補は連星中性子星の合体<sup>7)9)</sup>と重い星の崩壊<sup>10)12)</sup>になった。双方ともGRBのエネルギーを供給できる。連星合体の頻度がGRBとほぼ同じなので、最初は合体説の方が優勢であった。ところが1998年、GRBと超新星が同時期、同じ方向から検出された。超新星は重い星の崩壊で作られるので、この観測は重い星説を支持する。しかし、このイベントは非常に特異であった。通常よりGRBはかなり弱く、超新星はかなり明るかった。偶然一緒に起こった可能性もあり、大論争になった。いくつかのGRB残光に見られる、減光していた残光が一度増光に転じる現象は超新星で説明できるという主張も出た。しかし星間ガスに高密度なところがあっても残光は増光する。議論は膠着状態に陥った。

決定打となったのが2003年にHETE2衛星が発見したGRBであった。残光の増光時のスペクトルがとられ、これが超新星のスペクトルと一致したのである<sup>13)14)</sup>。今度のGRBは98年のものと違い、普通の明るさに近かったので、GRBが超新星と同時に起こることが確定した。つまりGRBは重い星の崩壊で作られるのだ！GRBの母銀河の研究からもGRBは星形成の活発な環境で生まれることが示唆されているので、重い星の

崩壊説でよさそうである。ただしどのようにして重い星の崩壊から相対論的ジェットが生まれるのかは現在でも謎である。また、すべての GRB で超新星が確認されたわけではない。残光から得られる星間ガスの分布が重い星周辺のガス分布と異なるという指摘もある。GRB 研究の歴史は間違いの連続であった。慎重になるべきかもしれない。

さて GRB はその継続時間の分布を見ると、2 秒以上の Long GRB と 2 秒以下の Short GRB にわかれることが知られている。今までの話は Long GRB の話である。Short GRB に関しては残光が見つからず、距離がわからない状況がさらに続いた。2005 年ついに Swift 衛星が Short GRB の残光を発見し、研究が急速に進み始めている。特に Short GRB の一部が楕円銀河で起こることが明らかになった<sup>15), 16)</sup>。これまで楕円銀河で起こった Long GRB はひとつもない。エネルギーも Long GRB より 100 分の 1 程度と小さく、Short GRB の少なくとも一部は Long GRB と異なることが確定した。その結果、連星中性子星の合体説が復活することになった。

ところが話は簡単ではなく、残光の観測から継続時間が 100 秒以上もある Short GRB があることがわかりつつある<sup>16)</sup>。単純な連星中性子星の合体説では長い継続時間を出せないのでは何かの変更が必要である。中性子星とブラックホールの

合体という説も出た。ブラックホールが中性子星を合体前に破壊するので長い継続時間を出せるかもしれない。また、銀河系内の軟ガンマ線リピーターとして知られる、超強磁場中性子星の表面の巨大フレアが遠くの銀河で起こっても Short GRB のように見えることがわかっており<sup>17)</sup>、単一起源ではないかもしれない。連星の合体時に放出される重力波を検出できれば確実な証拠となる。重力波の検出など待てないという人もいて、連星合体時に起こるかもしれない弱い超新星の探索も開始されている。これからが楽しみである。

## 参考文献

- 1) Zhang B., Mészáros P., 2004, *International Journal of Modern Physics A* 19, 2385
- 2) Fishman G. J., Meegan C. A., 1995, *ARA&A* 33, 415
- 3) Lamb D., 1995, *PASP* 107, 1152
- 4) Paczyński B., 1995, *PASP* 107, 1167
- 5) Metzger M. R., et al., 1997, *Nature* 387, 878
- 6) Sari R., Piran T., Narayan R., 1998, *ApJ* 497, L17
- 7) Paczyński B., 1986, *ApJ* 308, L43
- 8) Goodman J., 1986, *ApJ* 308, L47
- 9) Eichler D., et al., 1989, *Nature* 340, 126
- 10) Woosley S. E., 1993, *ApJ* 405, 273
- 11) Paczyński B., 1998, *ApJ* 494, L45
- 12) MacFadyen A. I. Woosley S. E., 1999, *ApJ* 524, 262
- 13) Stanek K. Z., et al., 2003, *ApJ* 591, L17
- 14) Hjorth J., et al., 2003, *Nature* 423, 847
- 15) Berger E., et al., 2005, *Nature* 438, 988
- 16) Barthelmy S. D., et al., 2005, *Nature* 438, 994
- 17) Hurley K., et al., 2005, *Nature* 434, 1098