

Short-burst sources

継続時間の短いバーストの源

Luigi Piro

継続時間の長いγ線バーストについては、そのX線残光の測定により、宇宙からのこのような明るい閃光放射の源がほぼ明らかになっている。寿命が短いγ線バーストについても、その謎の解明がはじまりつつある。

Nature Vol.437(822-823)/6 October 2005

継続時間の短いγ線バーストとして知られる高エネルギー放射光である、謎の閃光の距離や放射エネルギー量、発生源を解明しようとする試みは、これまで成功しなかった。今回報告された観測¹⁻⁴によって、初めてこのバーストの宇宙論的距離が明らかになり、その起源に関する有力な理論モデルに関する確かな証拠が得られた。このモデルでは、継続時間の短いγ線バーストはコンパクト天体、つまり高密度の中性子星かブラックホールといった、爆発した星の残骸が合体するときに放出する膨大なエネルギーがあらわれたものである。

γ線バースト (GRB) は、よく知られた天空で最も華々しい現象で、30年以上にわたって科学者の興味をひいてきた。それは意表をついて出現し、つかの間の間、他のいかなるγ線源天体も凌駕する明るさで激しく輝き、そして消え失せる。γ線バーストには2種類あり、継続時間によって区別される。すなわち、継続時間の長い(2秒以上の)ものと短いものである⁵。イタリアとオランダの宇宙機関が軌道投入した BeppoSAX 衛星の精密で迅速な位置測定能力のおかげで、継続時間の長いγ線バーストの発生源は1997年に明らかにされた。その結果、初めのγ線放射よりも周波数の低いX線⁶および可視光⁷の周波数領域に、バーストの微弱で寿命の長い残光放射が発見された。観測によって、これらの事象と赤方変位1~2の明るくない星形成銀河の中に存在する、若くて重い星の核の爆発的崩壊との関連が明らかになった。(宇宙論的な放射光の赤方変位は、母天体の距離の指標である。赤方変位 z は、放射光が放射されてから宇宙が $1+z$ 倍に膨張していることを示している。)

継続時間の短いGRBの波長の長い残光は、これまで検出されなかった。継続時間の短いGRBの残光は、継続時

間の長いGRBの残光よりかなり暗いだけだという推論は、継続時間の短いGRBに説明を与える合体モデルと合致している。このモデルは、連星系の質量の大きな2つの親星の超新星爆発ではじまる。2つの親星は自身の重さで崩壊し、きわめて密度の高い中性子星になるか、親星がさらに重い場合はブラックホールになる。超新星爆発によって分け与えられた反発力で、これら2つのコンパクト天体は銀河の密度の低い空間に放たれ、やがてそこで合体して継続時間の短いγ線バーストを起こす(図1)。バーストの残光は、爆発によって相対論的な速度で放出された物質が、周囲の媒体と相互作用することによって発生する。よって、コンパクト天体の合体は銀河の密度の低い領域で起こるため、継続時間の短いGRBからの残光放射は少ない、あるいはまったくないと思われる。

それにもかかわらず、BeppoSAX衛星とNASAのBATSE衛星によって独立して観測された、数十の継続時間の短いGRBの光度曲線を積み重ねると、硬い、つまり周波数の高いX線の数十秒間続く残光が発見された^{8,9}。統計的な有意性が乏しいにもかかわらず、これは何らかの寿命の長い放射が実際に存在することの証拠であり、暗いだけでなく、単に正しい方向を向いたX線カメラを利用できなかったために継続時間の短いGRBのX線残光を見落としていたという可能性が出てきた。この可能性を排除するために、2004年11月に広視野硬X線撮像検出器を搭載したNASAの新しい衛星Swiftが打ち上げられた。

Nature 2005年10月6日号の4つの論文で、2つの継続時間の短いGRBの迅速、かつ精密な位置測定について報告されている¹⁻⁴。Gehrelsたち¹は、2005年5月9日に起きた最初の継続時間の短いバースト (GRB 050509B) について、Swift衛星によって同定した結果

を報告している。衛星はバーストの方向にすばやく向きを変え、バーストの1分後に、搭載された視野のせまいX線望遠鏡が10秒(360分の1度)以内の正確さで、暗いX線源の位置をとらえることができた。その結果、バーストの発生源として赤方変位0.225にある、星形成のない明るい楕円銀河が有望であることが示された。

Villasenor たち²は、2005年7月9日にNASAのHETE2衛星によって位置が特定された、2番目の継続時間の短いバースト GRB 050709 の観測結果について報告している。Fox たち³と Hjorth たち⁴は、このバーストに続く寿命の長いX線と可視光の残光を発見し、赤方変位0.16にある星形成銀河との明らかな関係を示すことができた。この2番目のバーストは一見したところでは、明確な残光や星形成銀河に発生源があるなどといった特性が、継続時間の長いGRBと共通している。

しかしながら、発生源の距離を考慮に入れると、GRB 050709のX線残光の光度は継続時間の長いバーストの典型的な光度より3桁ほど小さい。コンパクト天体ができてから合体するまでの時間は、数百万年から数十億年のどれにもなりうるので、老いた星から成ることの多い楕円銀河でも、星形成中の若い銀河でも継続時間の短いGRBが発生していると考えられるかもしれない。それでもやはり、最近の数か月間にSwift衛星によって発生源が突き止められたほかの2つの継続時間の短いバースト(文献3とその中の参考文献を参照のこと)もまた、GRB 050509B(文献1)のように楕円銀河に発生源があるように思われる。楕円銀河の方が優勢であることは、親星の数十億年にわたる平均的な進化を示しているようだ。

継続時間の短いGRBのエネルギー放出量は、発生源までの距離が確定すれば、等方的に放射していると仮定して容易に導かれ、 $10^{48} \sim 10^{50}$ エルグの範囲にあることがわかった。やはり、これも継続時間の長いGRBよりも約3桁小さい。それでもなお、バーストの説明として、軟γ線リピーター(SGR)¹¹として知られているきわめて強い磁場をもつ中性子星のフレアを除外するには、十分大きい。しかしながら、短いバーストの中には近くの系外銀河にあるSGRで生じたものがある可能性は残る。

GRB 050709で観測される寿命の長い残光放射の特性は、集束した(方向性の高い)相対論的な爆風の衝撃を受けた低密度の周囲の物体から放射が生じた可能性と矛盾しない。同じプロセスが、継続時間の長いバーストでも働いていると考えられる。しかし、継続時間の短いバーストのエネルギーが小さく、さまざまな種類の銀河で地球により近いところで発生していることから、継続時間の短いGRBと継続時間の長いGRBは実際に別の種族であると思われる。観測された継続時

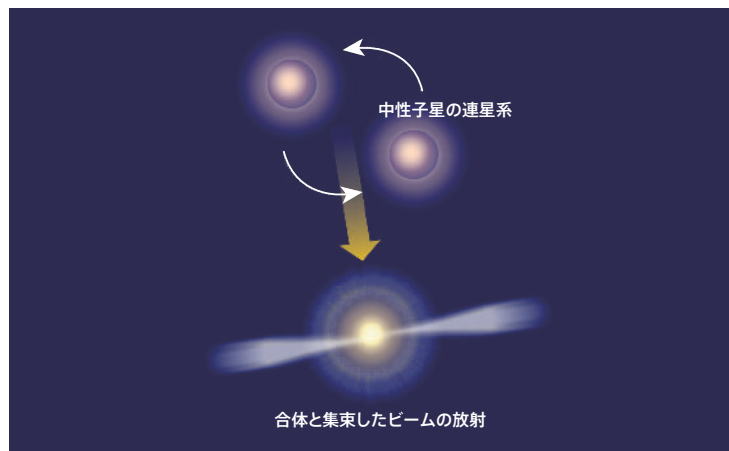


図1 バーストの現場。継続時間の短いγ線バーストの発生に対する、現時点での最も有力なモデルが、最近の観測¹⁻⁴によって支持される。このモデルでは、2つのきわめて密度の高いコンパクト天体、つまり中性子星やブラックホールといった爆発した星の残骸が合体し、γ線周波数のきわめて高い方向性をもった電磁波を放出する。

間の短いGRBの特徴¹⁻⁴は、2つの中性子星か、中性子星とブラックホールの合体モデルと矛盾しない。

疑問がいくつか残る。第1に、バーストが近くの明るい楕円銀河と優先的に関連があるならば、継続時間の短いGRBが明確に同定された場所に、そのような銀河があらかじめ見つかっていないのはなぜか¹²。これは、親星の種族が特別な特性をもっているためか、まだ識別されていない暗い銀河で発生する遠方の事象であるためかもしれない。第2に、GRB 050709の残光が、短いバーストの2週間後に派手なX線活動の証拠を示した³のはなぜか。これはバーストを駆動する主機関からエネルギーが永続的に注入されていることを示すため、とりわけ難問である。

継続時間の長いGRBの場合と同様に、継続時間の短いGRBの寿命の長い残光が発見されたことは、宇宙におけるこれらの風変わりな爆発現象を、電磁波放射を通して詳細に研究する下地となる。将来的には、第2世代のレーザー干渉型検出器LIGOとVIRGOを用いた、このような事象から発生する重力波の検出へ大きな期待が寄せられる。■

INAF (イタリア)、Luigi Piro

1. Gehrels, N. *et al. Nature* **437**, 851-854 (2005).
2. Villasenor, J. S. *et al. Nature* **437**, 855-858 (2005).
3. Fox, D. B. *et al. Nature* **437**, 845-850 (2005).
4. Hjorth, J. *et al. Nature* **437**, 859-861 (2005).
5. Kouveliotou, C. *et al. Astrophys. J.* **413**, L101-L104 (1993).
6. Costa, E. *et al. Nature* **387**, 783-785 (1997).
7. van Paradijs, J. *et al. Nature* **368**, 686-688 (1997).
8. Lazzati, D., Ramirez-Ruiz, E. & Ghisellini, G. *Astron. Astrophys. J.* **379**, L39-L43 (2001).
9. Montanari, E., Frontera, F., Guidorzi, C. & Rapisarda, M. *Astrophys. J.* **625**, L17-L21 (2005).
10. Fryer, C. L., Woosley, S. E. & Hartmann, D. H. *Astrophys. J.* **526**, 152-177 (1999).
11. Hurley, K. *et al. Nature* **434**, 1098-1103 (2005).
12. Hurley, K. *et al. Astrophys. J.* **567**, 447-453 (2002).