

Pulsar Magnetohydrodynamic Winds

パルサー磁気流体風

岡本 功 (国立天文台),
Friday B. Sigalo (Nigeria, 国立天文台)
PASJ, **58**, 987 (2006)

パルサー磁気圏論・磁気流体風理論では、最も基礎的な部分でいくつかの未解決の難問が残されている。その一つが、かに星雲の Rees-Gunn モデルが要求する kinetic energy-dominated state と磁気流体風理論が予測する magnetic energy-dominated state との相克である。動径磁場構造をパルサー磁気流体風に適用して、無限遠方にある磁気音速面 S_F で $\gamma_F = \mu_e^{1/3}$ が得られていて、残り $\mu_e - \mu_e^{1/3}$ ($\approx \mu_e \gg 1$ for $\mu_e \gg 1$) は依然電磁場がもっている。いろいろ磁場構造の効果を調べた Begelman (1998) は MHD 加速は“ありそうにない”と結論づけて、Rees-Gunn モデルの中心命題を捨てねばならぬと主張した。確かに源から十分遠くでは、磁場構造は動径磁場で近似することは“もっともらしい”のであるが、これが呪縛となって、全く逆の結論を導き出しているというのが筆者の主張である。Heyvaerts & Norman (1989) が導入した、漸近近似法を使うとウインド領域は、アルフベン面 S_a に関して漸近領域と亜漸近領域とに分けられる。その分離面を S_a と書くと、磁気音速面 S_F は S_a の近くにあつて ($S_F \sim S_a$)。 ($S_F \sim S_a$)、 $\gamma_F = \mu_e^{1/3}$ である。したがって、漸近領域 ($S_a \sim S_F \leq S \leq S_\infty$) で $\gamma_\infty = \mu_e$ まで加速可能である。

なぜ Begelman は間違ったか？ 漸近領域では、磁場構造を決める、いわゆるトランスフィールド方程式 (Tr-F Eq) は、 $\rho \gamma_p^2 / R \approx \bar{\rho}_e E_p + (1/c) j_p B_p$ に帰着する。左辺は慣性項、右辺は相対論的ローレンツ力で、 R は磁力線に沿った曲率半径である。ここで、漸近領域では慣性項が卓越して、磁力線は引き延ばされてほぼ radial となっていると考えると、 $1/R \approx 0$ 、したがって右辺の相対論的ローレンツ力も ≈ 0 、したがってフォースフリーで、MHD 加速は起こらない、となる。つまり、“慣性優勢 \Rightarrow 磁場優勢”という全く逆の結論になるのである。漸近領域の Tr-F Eq では、 $1/R$ が確かに小さいけれども、それは慣性 $\rho \gamma_p^2$ が十分大きくなっているためであつて、この二つの因子の積は、相対論的なローレンツ力とバランスしなければならないこと示している。このような誤った論理は最近の Heyvaerts & Norman (2003a, b, c) にも見られる。

The Connection between Gamma-Ray Bursts and Extremely Metal-Poor Stars: Black-Hole Forming Supernovae with Relativistic Jets

相対論的ジェットを伴う超新星爆発によってつくられたガンマ線バーストと金属欠乏星

富永 望 (東京大学), 前田啓一 (MPA),
梅田秀之 (東京大学), et al.
ApJ, **657**, L77 (2007)

超新星(SN)を伴ったガンマ線バースト GRB980425/SN1998bw (赤方偏移 $z=0.0085$), GRB030329/SN-2003dh ($z=0.1685$) の発見により、継続時間の長いガンマ線バーストは大質量星の超新星爆発 (極超新星) と同起源であることが明らかとなっている。2006年2月までに計4例のガンマ線バーストが近傍で発見され、それらすべてに明るい超新星が付随していた。

ところが、2006年5,6月に発見された継続時間の長いガンマ線バースト GRB060505 と GRB060614 はそれぞれ $z=0.089, 0.125$ という近傍の現象であったにもかかわらず、付随した超新星が観測されなかった。その明るさには上限が求められており、超新星が付随していたとしても SN1998bw の 1/100 以下の明るさしかもたないことが示された。そのため、そもそも GRB060505 と GRB060614 に超新星は付随していたのか、つまり、それらの起源は大質量星の超新星爆発であったのか、ということが議論されている。

この論文では相対論的ジェットを伴う超新星爆発の2次元流体・元素合成計算を行った。まず、合成された ^{56}Ni (^{56}Fe へ崩壊する放射性元素、超新星の光のエネルギー源) の量に着目し、(1) 大質量星の超新星爆発として暗く観測されない超新星とガンマ線バーストが両立すること、(2) これまでに観測されているガンマ線バースト/極超新星も相対論的ジェットの性質 (エネルギー注入率) の異なるモデルによって説明可能であることを示した。次に、その他の元素にも着目し、ジェット状超新星爆発における元素合成と金属欠乏星 (金属量 $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ の星で単一の超新星による元素合成を反映している) の元素組成とを比較した。その結果、ガンマ線バースト/極超新星に対応するモデルは通常金属欠乏星の元素組成を、GRB060505 と GRB060614 に対応するモデルは炭素の鉄に対する比 ($[\text{C}/\text{Fe}]$) が大きく金属量のより小さい金属欠乏星の元素組成を非常によく再現することが明らかとなった。このことは、金属欠乏星の元素組成の起源としてガンマ線バーストのようなジェット状超新星爆発が有力であることを示し、宇宙初期でもそれらが起こっていた可能性を指摘している。