

J54a 超相対論的に膨張する物質と星周物質の衝突の初期進化

茂山 俊和 (東京大学), 鈴木 昭宏 (東京大学), 中村 航 (国立天文台)

GRB からのジェットは Lorentz 因子が 100 以上の超相対論的な運動をしているものだと考えられている。このようなジェットが星周物質に衝突するときには接触不連続面を挟んで両側に衝撃波が立つと思われがちであるが、実はそうとは限らないことを示す。非相対論的な運動をしているジェットと星周物質の衝突では運動の相対速度が双方の音速を大きく超えていれば 2 つの衝撃波が立つことは Landau & Lifshitz の教科書 Fluid Mechanics にも示されている。しかし、この教科書の議論を相対論的な場合に拡張するとその条件は $\gamma_e \equiv \sqrt{1/(1-v_e^2)} > \sqrt{3P_e/(4\rho_{\text{CSM}})}$, となる。ここで、 v_e は相対速度、 P_e はジェットの圧力、 ρ_{CSM} は星周物質の質量密度である。ただし、光速を 1 とし、星周物質の圧力は無視した。実際に相対論的な shock tube 問題を解くと、相対速度が音速を大幅に超えているにもかかわらず星周物質に相当する側に衝撃波ができ、ジェットに相当する側には希薄波が立つことがあることを示すことができる。実際の GRB に適応してみると、温度が 10^7 K ほどを持ったジェットが質量放出率 \dot{M} を持つ定常で球対称な星風によって形成された星周物質に衝突する時には上の条件が

$$\gamma_e > \sqrt{3P_e/(4\rho_{\text{CSM}})} \sim 6 \times 10^3 r_{13} T_7^2 \sqrt{v_8/\dot{M}_5}, \quad (1)$$

となることから、初期には衝撃波と希薄波がたつことが期待される。ここで、 r_{13} は中心からの距離 r を 10^{13} cm で割ったもの、 v_8 は星風の速度 v を 10^8 cm s $^{-1}$ で割ったもの、 $\dot{M}_5 = \dot{M}/(10^{-5}M_\odot/\text{yr})$ である。そこで、このような状況を記述する球対称自己相似解を構築したので報告する。球対称ではあるが、軸対称なジェットと星周物質の衝突に際し、その対称軸付近での動径方向の流れを調べる上で役に立つものと考えられる。