平成 20 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

相対論的ジェットの数値流体力学的研究

水田 晃 (千葉大学先進科学センター)

利用カテゴリ　XT4B ・ SX9A

ガンマ線バーストで見られる相対論的ジェットの数値流体シミュレーションを重力崩壊型超新星爆発の特別なタイプと考えられているコラプサー起源のものに注目して行った。

親星には角運動量の輸送などを考慮し、星の進化を計算した Woosley&Heger(2006) による現実的な親星モデルを採用した。半径が 10^{10}cm のオーダーの 19 モデルに関して調べた。これらは、質量に関して大きく分けて 5, 10, 15 太陽質量程度のグループにわけられ、同じグループ内でも動径方向の密度構造は異なっている。鉄コアの崩壊後、親星中心で双極状のアウトフローが生成されたと考え、計算領域の最内 10^8cm からジェットを境界条件として与え、ジェットの伝搬のシミュレーションを行った。2008 年度はジェットの条件を固定し、上記の様々な親星を用い、ジェットのダイナミックスへの親星の特性 (半径、質量等) の依存性を調べた。

ジェットは親星外層を伝搬している間は、先端に強い衝撃波を形成し、高温、高圧のコクーン構造によって収束が保たれる (図 1)。親星表面を突き破ってからはコクーンが自由膨張するにつれ、ジェットの収束もやや悪くなるが動径方向のダイナミックスが支配的であり、開き角は大きくはならない (図 2)。

このようなジェットを我々はどのような角度から観測をするかは分からない。そこでジェット軸と視線方向の成す角を変えてどのようにジェットが見えるかを調べるためエネルギー角度分布を求めた。エネルギー角度分布はジェット軸に近い方からジェットからの 2 つのべき的な成分が見られ、更に外側には膨張するコクーン成分が主となる成分が見られた。ジェット成分のべきに関して、親星との相関を調べたところ、親星の質量と強い相関が見られた (図 3)。重い親星モデルの方がエネルギー角度分布がなだからになっており、軽い親星モデルよりも早く横方向へ膨張していっていることが分かった。これは、ジェットが重い親星を伝搬している間、高密度の外層ガスによって強く閉じ込められていることによる。エネルギー分布は親星の進化で仮定された質量放出率にも依存する。これは、質量放出率が爆発直前の親星の質量と相関があるためである。親星の半径など他の特性とエネルギー角度分布には相関が見られなかった。

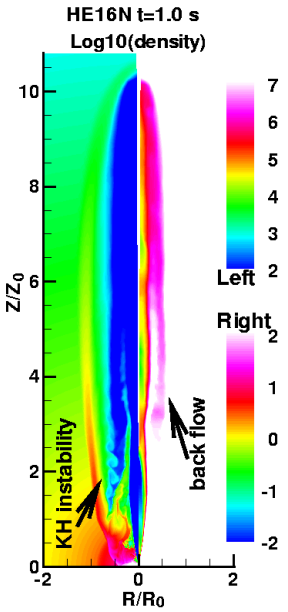

図 1: モデル HE16N の時刻 ($t = 1.0\,\mathrm{s}$) での質量密度分布 (左右で異なったカラースケールでかかれている)。空間スケールは $R_0 = Z_0 = 10^9\,\mathrm{cm}$ で規格化されている。下中心部から注入されたジェットは z 軸状に沿って進んでいる。ジェット先端ははまだ親星表面に達しておらず親星外層との相互作用によって強い衝撃波を形成しジェットは大きなエネルギー散逸を受ける。そのためジェットの物質はは先端で熱的になり、更に横方向、最終的には後方へ流れる逆流を形成する。

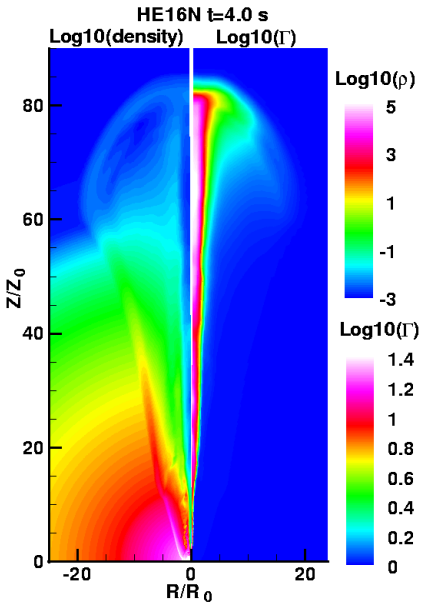

図 2: 図 1 と同じモデルの時刻 ($t = 4.0\,\mathrm{s}$) での質量密度分布 (左)、ローレンツ因子分布 (右)。空間スケールは $R_0 = Z_0 = 10^9\,\mathrm{cm}$ で規格化されている。ジェットは親星表面 ($\sim 5 \times 10^{10}$ cm を突き破り希薄な星間物質中へ進んでいる。コクーン成分が大きく広がっているがローレンツ因子の大きいジェット成分はよい収束を保っている。

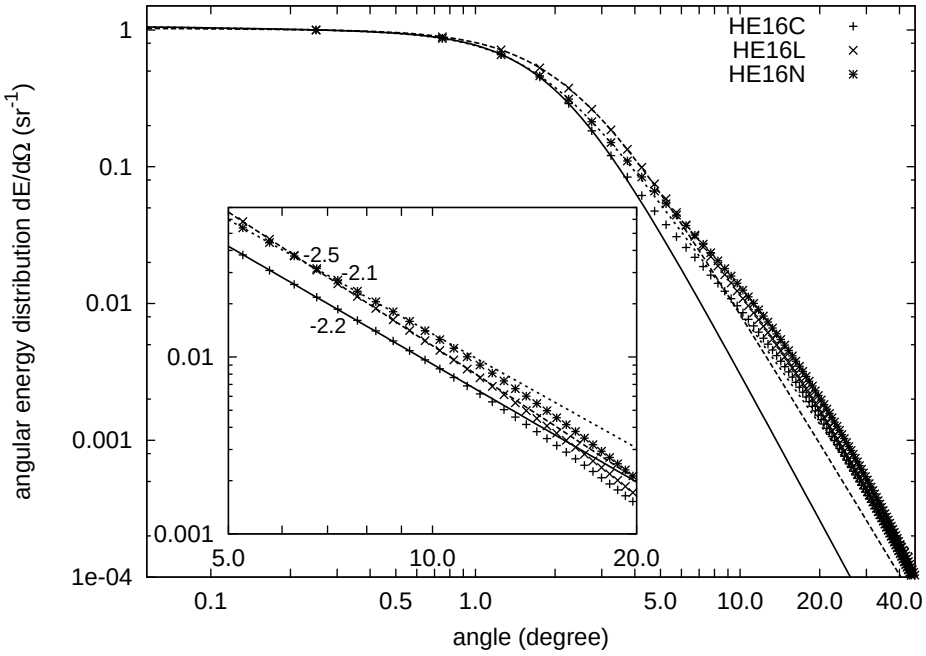

図 3: モデル HE16C(∼5 太陽質量),HE16L(∼10 太陽質量),HE16N(∼15 太陽質量), のエネルギー角度分布。角度はジェット軸と視線方向の成す角度。エネルギーは最大の点で規格化されている。分布は軸付近のほぼ傾き 0 の成分から角度が大きくなるにつれ、べきに下がっていき 2 つのべき成分をもった関数でフィットできる。親星の質量が重い程、傾きはなだらかでジェットが早く広がっていることを反映している。6 度程度からコクーン成分が見え、なだらかなべき成分でフィットできる (小窓)。