

重力崩壊型超新星の定在降着衝撃波不安定性の三次元数値解析

中野わかな (東北大学流体科学研究所)

利用カテゴリ XT4B, 汎用PC

重力崩壊型超新星は、大質量星が進化の最終段階で引き起こす大爆発であると考えられている。しかし、その爆発メカニズムは完全に解明されていない。本研究では、重力崩壊型超新星爆発メカニズムの解明を目的として、非球対称爆発を引き起こす可能性がある定在降着衝撃波不安定性 (SASI) に着目してきた。今までは計算コストの制限から二次元軸対称計算を中心に行われてきたが、計算機性能の向上に伴い三次元非軸対称計算も可能になりつつある。本研究でも爆発メカニズム解明を目指し、SASIの三次元計算を行い、重力崩壊型超新星に関わる様々な現象との関わりを調べている。

太陽の10倍以上の質量を持つ大質量星は、自身の重みに耐えきれず重力崩壊を起こす。重力崩壊とは、星の中心に形成された鉄のコア中心部で電子捕獲反応が発生し、鉄が勢いよく分解して周囲の熱を奪い、中心部の圧力が大きく低下して周囲の物質が急激に中心に落下する現象のことである。この現象の発生により、瞬間的に膨大な重力エネルギーが解放され、コアバウンスとともに球状衝撃波が発生する。この球状衝撃波がそのまま星の表面に到達すれば、星は爆発して光り輝き、超新星として観測される。その後、爆発時に形成された原始中性子星が冷えてできた中性子星や爆発で吹き飛んだ物質が超新星残骸として観測される。しかし、一次元球対称数値計算では、上記の爆発過程を再現することができない。非常に小さなコアを仮定するなど特別な状況でない限り、最新の物理を取り入れた計算ではうまくいかない。衝撃波下流で起こる鉄の分解反応などにより爆発するためのエネルギーが消費されるほか、電子捕獲反応により発生したニュートリノがエネルギーを持ち去ってしまうため、衝撃波は弱まり、鉄のコア内部で停滞、もしくは中心に向かって逆戻りしてしまう。従って、非球対称な効果が爆発に対し重要な役割を果たすのではないかと考えられるようになった。

爆発の非球対称性を引き起こす要因として注目されているのが、定在降着衝撃波不安定性 (SASI) である。SASIは定常降着衝撃波に非球対称擾乱を与えた場合に発生する不安定性のことである。SASIには対称性を維持したまま衝撃波が振動するスロッシングモードと、対称性が破れて衝撃波が回転するスパイラルモードが存在する。回転流を伴う流れ場で発達したSASIは、一般的にスパイラルモードが成長する。このとき発生する重力波形について調べた結果が論文で報告されている[1]。申請者は、計算、データの管理、図の作成などを担当した。

SASIによる爆発の非球対称性は、対流など他の要因によるものよりも大きく、中性子星キックの発生メカニズムに大きく関わっているのではないかと考えられている。爆発しない場合について考えると、SASIが成長した後の流れ場が原始中性子星へ与える運動量を計算し、統計的性質を調べたところ、原始中性子星はランダムウォークと同様の過程でキックを受けることがわかった (momentum flux+ pressure on S in Fig. 1)。しかし、重力による作用反作用の影響を考慮すると、その効果は消滅してしまい、原始中性子星は元の位置を中心に振動するということがわかった (momentum in V in Fig. 1)。また、爆発モデルに関してキック速度を求めると、約50 ~ 200 km/sになるということがわかった。これは観測結果の平均400 km/s のキック速度よりも低い値である。これらの結果について、国際会議「IAU symposium 279 Death of Massive Stars: Supernovae & Gamma-Ray Bursts」でポスター発表を行った。

参考文献

[1] Kotake, K., Iwakami-Nakano, W., Ohnishi, N., ApJ (2011), 736, 124

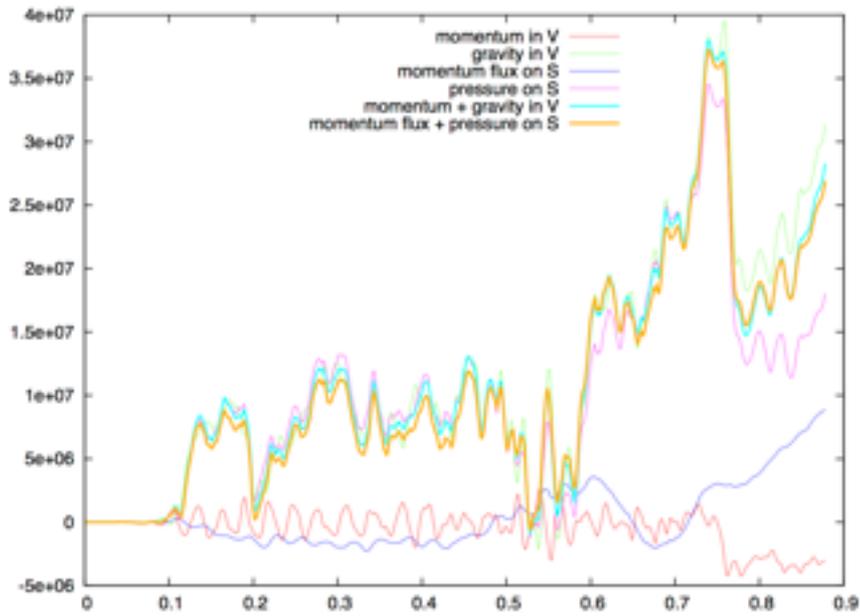


Fig. 1 Momentum exerted on the PNS for the non-explosion model

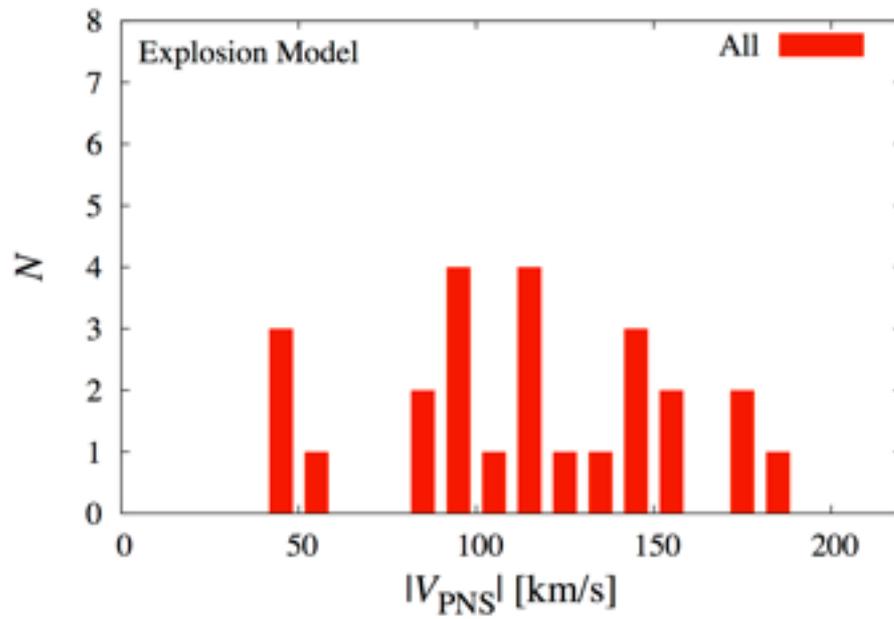


Fig. 2 Distribution of kick velocities for the explosion model