

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計算が行われてきたが、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。

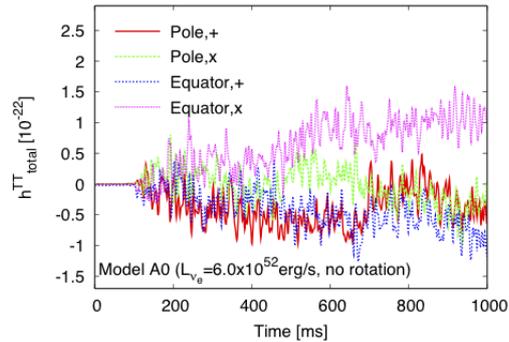
太陽の10倍以上の質量を持つ大質量星は、自身の重みに耐えきれず重力崩壊を起こす。重力崩壊とは、星の中心に形成された鉄のコア中心部で鉄が勢いよく分解して周囲の熱を奪い、中心部の圧力が大きく低下して周囲の物質が急激に中心に落下する現象のことである。この現象の発生により、瞬間的に膨大な重力エネルギーが解放され、コアバウンスとともに球状衝撃波が発生する。この球状衝撃波がそのまま星の表面に到達すれば、星は爆発して光り輝き、超新星として観測される。その後、爆発時に形成された原始中性子星が冷えてできた中性子星や爆発で吹き飛んだ物質が超新星残骸として観測される。しかし、一次元球対称数値計算では、上記の爆発過程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。

爆発の非球対称性に関心が集まるなか、非球対称の原因になりうる SASI と爆発との関係について調べた多くの多次元の数値計算が行われた。その結果を基に、超新星爆発時に発生する重力波を計算することができる。数年前、我々は、三次元の場合について SASI の発達後に原子中性子星周りの流体から発生する重力波を調べた [1]。超新星から発生する重力波の成分には物質によるものとニュートリノによるものがある。SASI が発達した流れ場から発生する重力波形は、振動数が大きい物質起源の成分と、振動数が小さいニュートリノ起源の成分で構成されている。二次元軸対称の場合と異なり、三次元非軸対称の場合は、初期擾乱やニュートリノ光度などのちょっとした条件の違いで全く異なる重力波形が得られる。これは、非線形段階における SASI のカオス的性質が原因と考えられている。しかし、流体がある方向に一樣に回転しているような場合、重力波の波形の性質に回転方向と相関を持つ何らかの特徴があらわれる可能性がある。そこで、昨年度は、原子中性子星周りを回転する流体から発生する重力波の研究を行った。

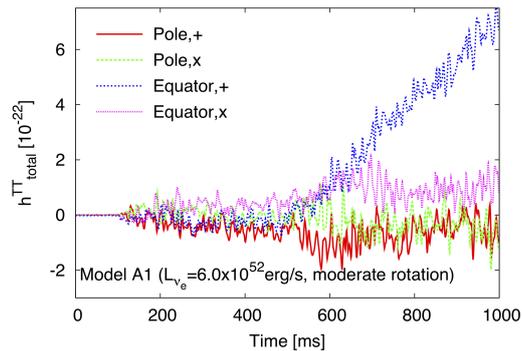
まず、比較的ニュートリノ光度が低い爆発しないモデルに対し、回転流を与えない場合 (ModelA0)、弱い回転流を与える場合 (ModelA1)、強い回転流を与える場合 (ModelA2) を考える。重力波計は、極方向から観測した+モード、×モード、水平面方向から観測した+モード、×モードの4つのタイプを調べる。ModelA0 の場合、重力波形にはっきり

した特徴はない (Fig.1 (a))。一方、回転を入れた ModelA1, ModelA2 の場合、水平面方向から観測したときの+モードの重力波の値が時間と共に増大することがわかった (Fig.1 (b))。

その他、原子中性子星周りを回転する流体から発生する重力波に関する性質をいくつか調べた。それらの結果は共同研究者の固武助教により論文にまとめられ、The Astrophysical Journal に投稿・受理されている。



(a) Model A0



(a) Model A1

Fig.1 Gravitational Wave.

参考文献

- [1] Kotake, K., Iwakami, W., Ohnishi, N., & Yamada, S., ApJL (2009), 697, L133