

## 研究課題名

一般相対論及び非相対論 3次元磁気流体計算による重力崩壊型超新星

利用者氏名 (所属機関)

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻

利用カテゴリ XT4B

本年度の計算では、大質量星の磁場と回転を伴う重力崩壊、及びそれに伴う重力波の放出について数値計算を行った。観測からは多くの重力崩壊型超新星が非球対称性を示し、その非球対称性を作る原因として我々は回転や磁場の効果が重要だと考えている。なぜならば十分な強磁場と回転が存在すると、双極子型のアウトフローが形成される事は超新星爆発に限らず原始惑星等といった他の天体現象の数値計算でも確認されている普遍的な現象であり、また重力崩壊型超新星爆発の観測からはその爆発形状が双極子型を示しているからである。

まず磁気回転型爆発において重要となる高速のアウトフローが形成されるかどうかという観点からわかった事は以下の事である。我々の計算からは十分な強磁場を採用したにもかかわらずアウトフローが形成されなかったモデルが有る。この理由として考えられる要因は、強重力場と非軸対称な回転不安定モードの二つが考えられる。重力崩壊直後に形成された原始中性子星がよりコンパクトであれば有る程、深い重力ポテンシャルからアウトフローが脱出する事は困難である。更に原始中性子星がコンパクトになると回転エネルギーと重力エネルギーの比が大きくなり回転不安定性が成長しやすくなる。我々の計算は3次元の計算のため、非軸対称な回転不安定が成長すると回転軸上での磁場の集中的な成長は阻害される。その為磁気駆動型のアウトフロー形成が行われなかったと考えている。我々が確認した範囲では、このようによりコンパクトな原始中性子星を作る要因として、状態方程式の影響、一般相対論の効果を数値計算で確認した。例えば同じ初期条件、状態方程式を採用したモデルでも一般相対論の計算ではニュートニアン近似と異なり、コアバウンス後の同時刻においてアウトフローの形成は確認されなかった。この理由は、一般相対論効果で重力場がより強くなり、原始中性子星がよりコンパクトになった為である。今後はより長時間の計算を行い、一般相対論計算でアウトフロー形成がどの程度遅れるか、またその時間差がどのように爆発へと影響を及ぼすかを確認する事が今後の課題である。

上述の回転不安定性は放出される重力波へと影響を及ぼすと考えられる事から、我々は重力崩壊に伴い放出される重力波も見積もった。我々の計算からは、コアバウンス後30ms以内において、ニュートニアン計算では見られたアウトフロー形成が一般相対論計算では見られなかった。この理由として、より強い重力の影響で中心天体がより圧縮され、非軸対称のスパイラル波及び、渦状停在衝撃波不安定 (spiral SASI) が出現しやすくなり (Fig.1 左図参照)、その結果アウトフロー形成が妨げられたと考えている。この spiral SASI はコアバウンス後約 15ms で出現し、それとほぼ同時に約 300Hz 帯にピークを持つ重力波が放出される結果も得られた (Fig. 1 右図参照)。この振動数帯 (~300Hz 帯) に出現する事は spiral SASI の形態の時間変化と矛盾ない事から、我々はこのエネルギー放出は spiral SASI に起因する物だと結論づけた。今回我々が用いた初期の角速度分布の場合、重力崩壊後に形成される原始中性子星はミリ秒単位で回転する高速の中性子星であり、そこから放出される重力波もその回転、及びコアバウンス後の初期に現れる対流に起因する ~1000Hz

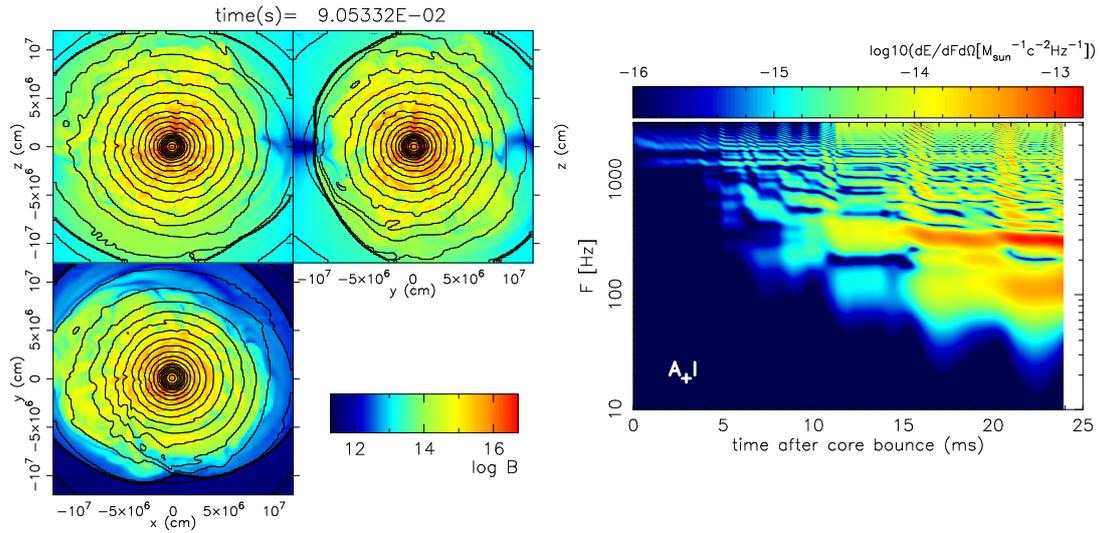


図 1: (左) 計算開始から約 90ms 後 (コアバウンスから約 30ms) の中心天体の様子。色は磁場の強さをガウスで表したものであり、黒線は等密度線を表す。 $m = 1$  のスパイラル構造が  $xy$  平面にはっきりと見て取れる。(右) エネルギースペクトルの時間変化。観測者は超新星から 10kpc 離れた回転軸上にいると仮定してある。図からわかるように 300Hz 帯での重力波放出 (Spiral SASI に起因) がコアバウンス後約 15ms で強くなってくる。

帯に強く現れる。このような kHz 帯への重力波放出は過去の先行研究でもいくつか報告されているが、我々の計算では更に Spiral SASI が成長した事が原因で数百 Hz 帯の低振動数への放出も起こる可能性を示した。この事は今回我々が今回新たに発見した内容である。またこの Spiral SASI により放出される重力波成分は次世代の検出器 (e.g., *LCGT* or *Advanced LIGO*) で十分観測できると考えられ、今後理論と観測の更なる融合が期待できる。