

高速回転星重力崩壊の

ボルツマン輻射流体シミュレーション

原田 了 (宇宙線研究所)

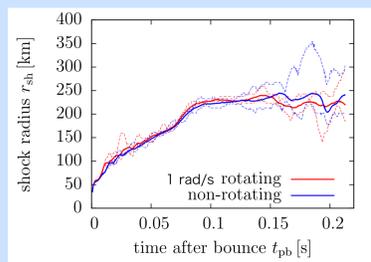
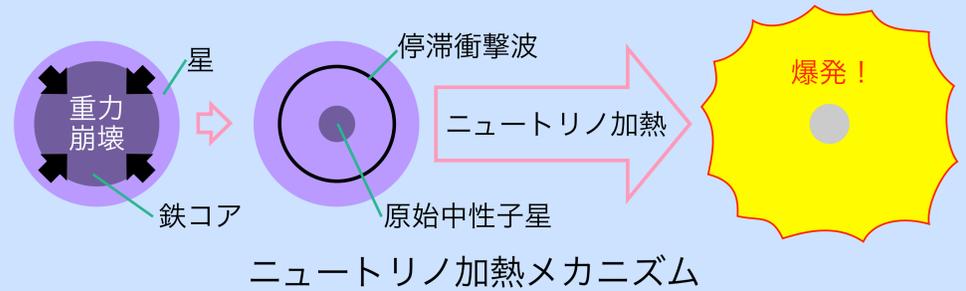
共同研究者: 山田章一、岩上わかな、大川博督 (早稲田)、長倉洋樹 (Princeton)、住吉光介 (沼津高専)、古澤峻 (東京理科大)、松古栄夫 (KEK)

Abstract

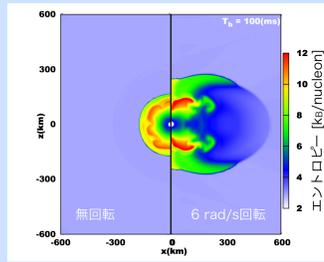
ボルツマン輻射流体コードを用いて中心が2 rad/sおよび4 rad/sで回転する親星の重力崩壊シミュレーションを行い、衝撃波と原始中性子星の進化を調べている。

1. Introduction

超新星爆発は大質量星の最期の爆発であり、ニュートリノ加熱メカニズムで爆発すると考えられている。この仮説の実証には六次元のボルツマン方程式によるニュートリノ輸送を解く必要がある。Harada et al. (2019)において、中心が1 rad/sで回転する親星の重力崩壊を計算すると回転の効果は衝撃波復活にはほぼ影響しないことがわかった。一方で6 rad/sで回転する場合は衝撃波が復活することがNagakura et al. (prep.)でわかった。それらの中間的な速度である2 rad/sおよび4 rad/sの場合の重力崩壊を計算し、ダイナミクス等を調べる。



Harada et al. (2019) 衝撃波の時間発展



Nagakura et al. (in prep) エントロピー分布

2. Method

コード: ボルツマン輻射流体コード

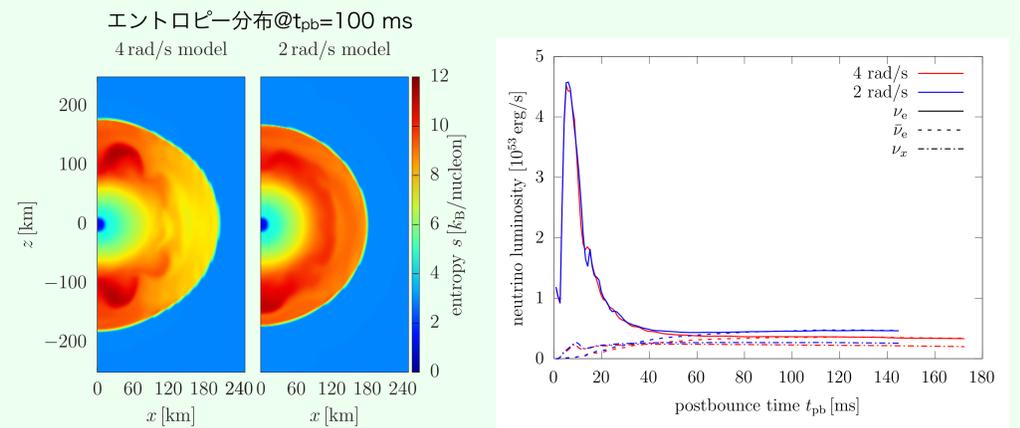
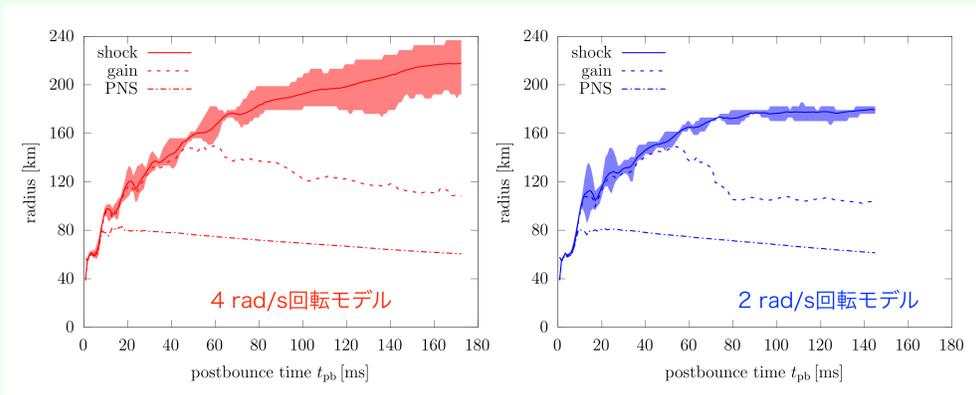
親星: 15 M_⊙ (Woosley et al., 2002) $\Omega(r) = \frac{2 \text{ or } 4 \text{ rad/s}}{1 + (r/10^8 \text{ cm})^2}$

EOS: 古澤-富樫EOS (Furusawa et al. 2017)

ニュートリノ反応: Bruennの標準セット

+ 軽元素電子捕獲率、GSI原子核電子捕獲率、核子制動放射

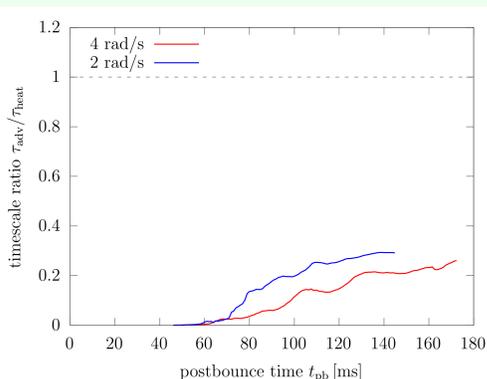
3. Results



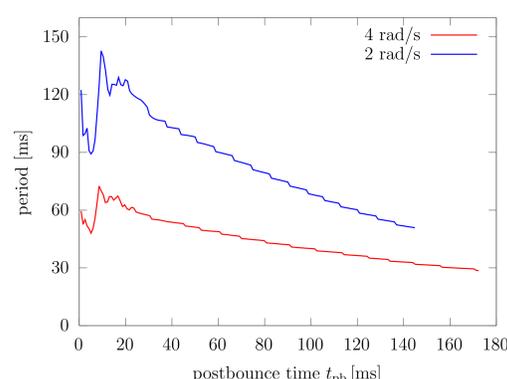
2つの回転モデルはまだ爆発が確定する段階までの計算は終わっていないが、衝撃波半径そのものは回転速度が速いほうが広がっている。衝撃波も扁平な形をしており、遠心力の影響で衝撃波が遠くまで広がっていると考えられる。

ゲイン半径(ニュートリノ加熱領域の内側境界。衝撃波は外側境界となる)は4 rad/sモデルのほうが大きくなっている。これは加熱率が4 rad/sモデルのほうが小さいことを示唆している。実際、ニュートリノ光度を比較すると4 rad/sモデルのほうが低くなっている。これは遠心力で中心の原始中性子星の収縮が抑えられ、表面温度が低くなっているためと考えられる。

回転モデルの爆発の可否は、遠心力で衝撃波が広がる効果とニュートリノ光度、したがって加熱率が低くなる効果のバランスで決まる。



$\frac{\tau_{\text{adv}}}{\tau_{\text{heat}}} = \frac{\text{加熱領域を流れ去る時間}}{\text{加熱にかかる時間}}$
で定義されるタイムスケール比は爆発可能性の指標であり、1を超えると爆発するとされる。どちらも1を下回っているが、増加傾向でもあり、さらに長時間の計算が必要である。



中心の原始中性子星は差動回転しているが、その平均的な回転周期は数10~100 ms程度である。現段階では質量降着で角運動量を獲得し続けており、最終的な回転速度を知るには衝撃波が復活し、降着が止まるまで計算する必要がある。

4. Summary

ボルツマン輻射流体コードを用いて2つの高速回転親星モデルの重力崩壊を計算している。爆発の可否は現時点では不明だが、衝撃波半径そのものはより高速回転するほうが広がっており、加熱率は遅く回転している方が高い。また、どちらも中心の原始中性子星は数10-100 ms程度の回転周期を持つ。今後の計算で、これらがどう進化し、爆発するかどうかを調べていく。