

ボルツマン輻射流体コードによる 軸対称超新星爆発シミュレーション

原田 了 (東京大学)

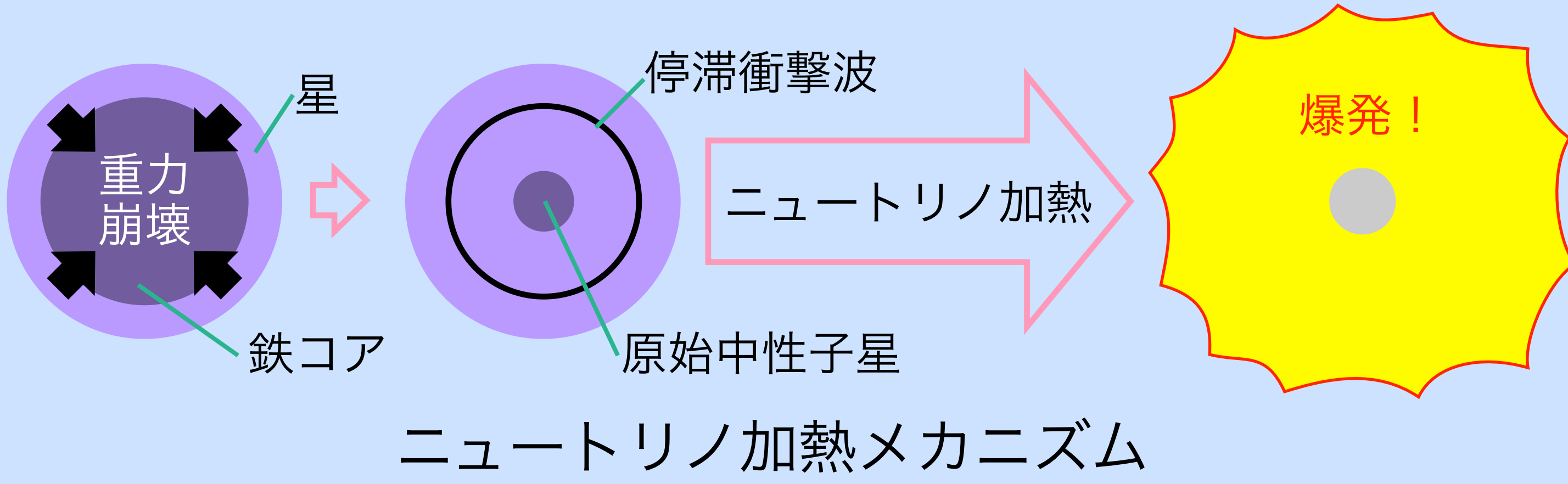
共同研究者: 山田章一、岩上わかな、大川博督 (早稲田)、長倉洋樹 (Princeton)、住吉光介 (沼津高専)、古澤峻 (東京理科大)、松古栄夫 (KEK)

Abstract

二つの異なる核物質状態方程式を用いたボルツマン輻射流体コードによる超新星シミュレーションによると、原子核組成の違いがバウンス後の進化等に特に大きな影響を与える。

1. Introduction

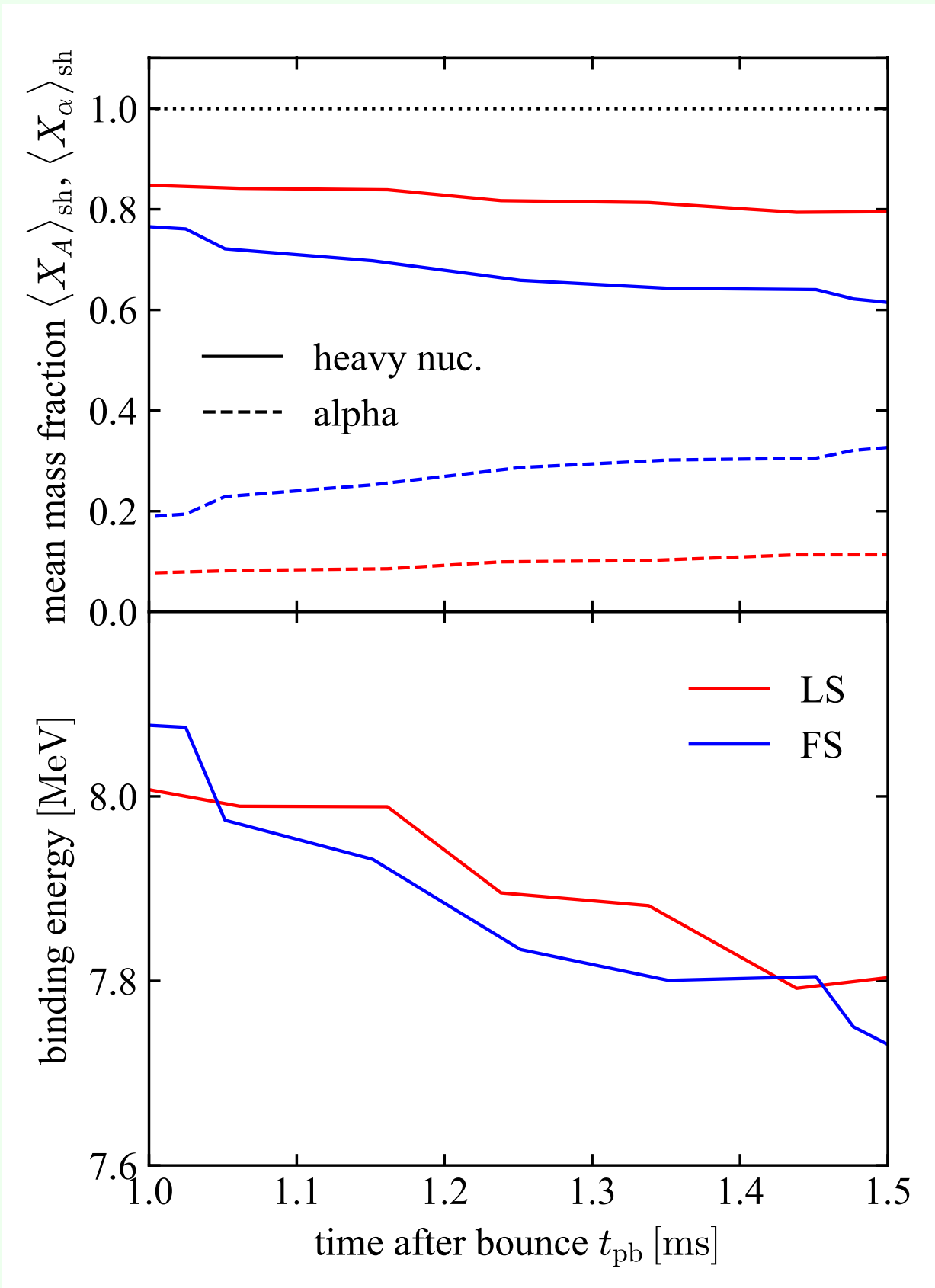
超新星爆発は大質量星の最期の爆発である。爆発メカニズムは未だ明らかではないが、ニュートリノ加熱メカニズムが現在の最有力仮説である。この仮説を確かめる上では六次元のボルツマン方程式によるニュートリノ輸送を解く必要がある。
Nagakura et al. (2018)において、「柔らかい」Lattimer & Swestyの状態方程式(LS EOS)と「硬い」Furusawa & Shenの状態方程式(FS EOS)の二つのモデルを用いた超新星爆発計算の結果が示され、LS EOSを用いた方のみ爆発していた。ここでは、その結果をさらに詳しく解析していく。



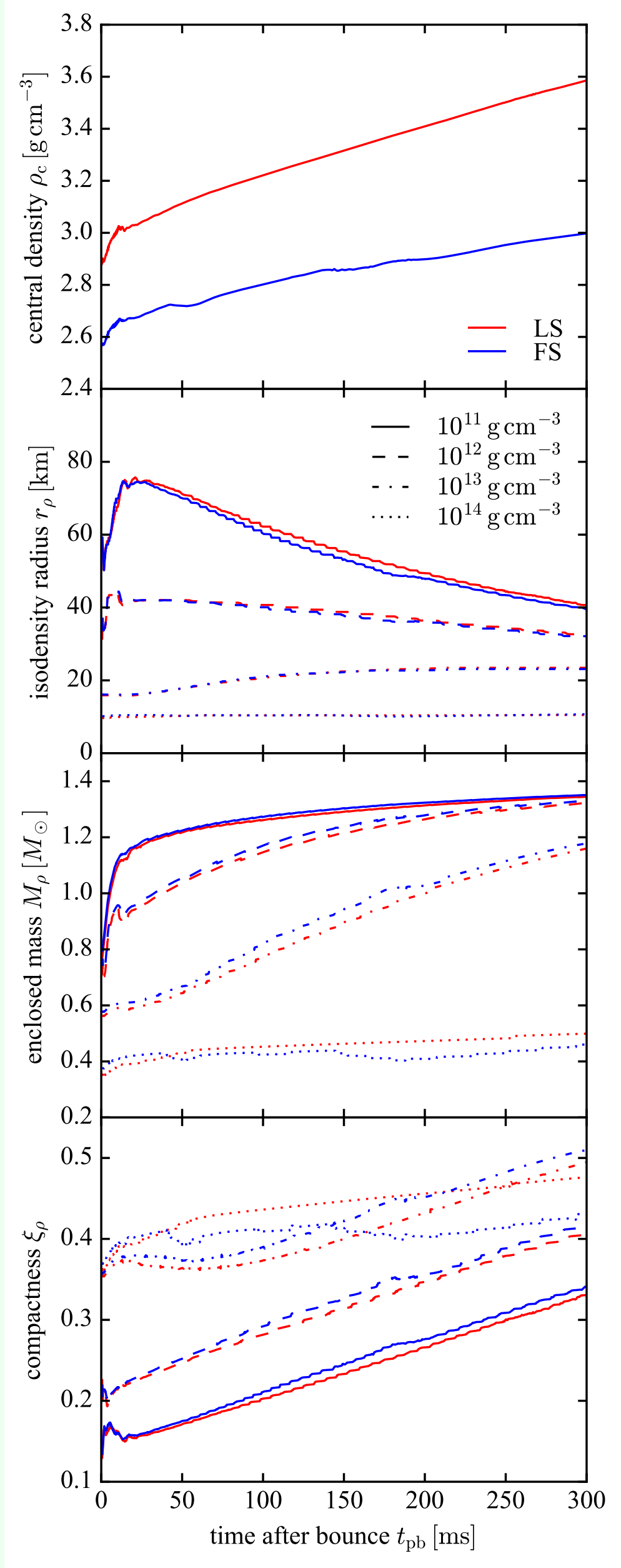
2. Method

コード: ボルツマン輻射流体コード
親星: 11.2 M $\odot$ (Woosley et al., 2002)
EOS: Lattimer & Swesty (1991)及びFurusawa et al. (2013)
ニュートリノ反応: Bruennの標準セット
+ GSI電子捕獲率、核子制動放射

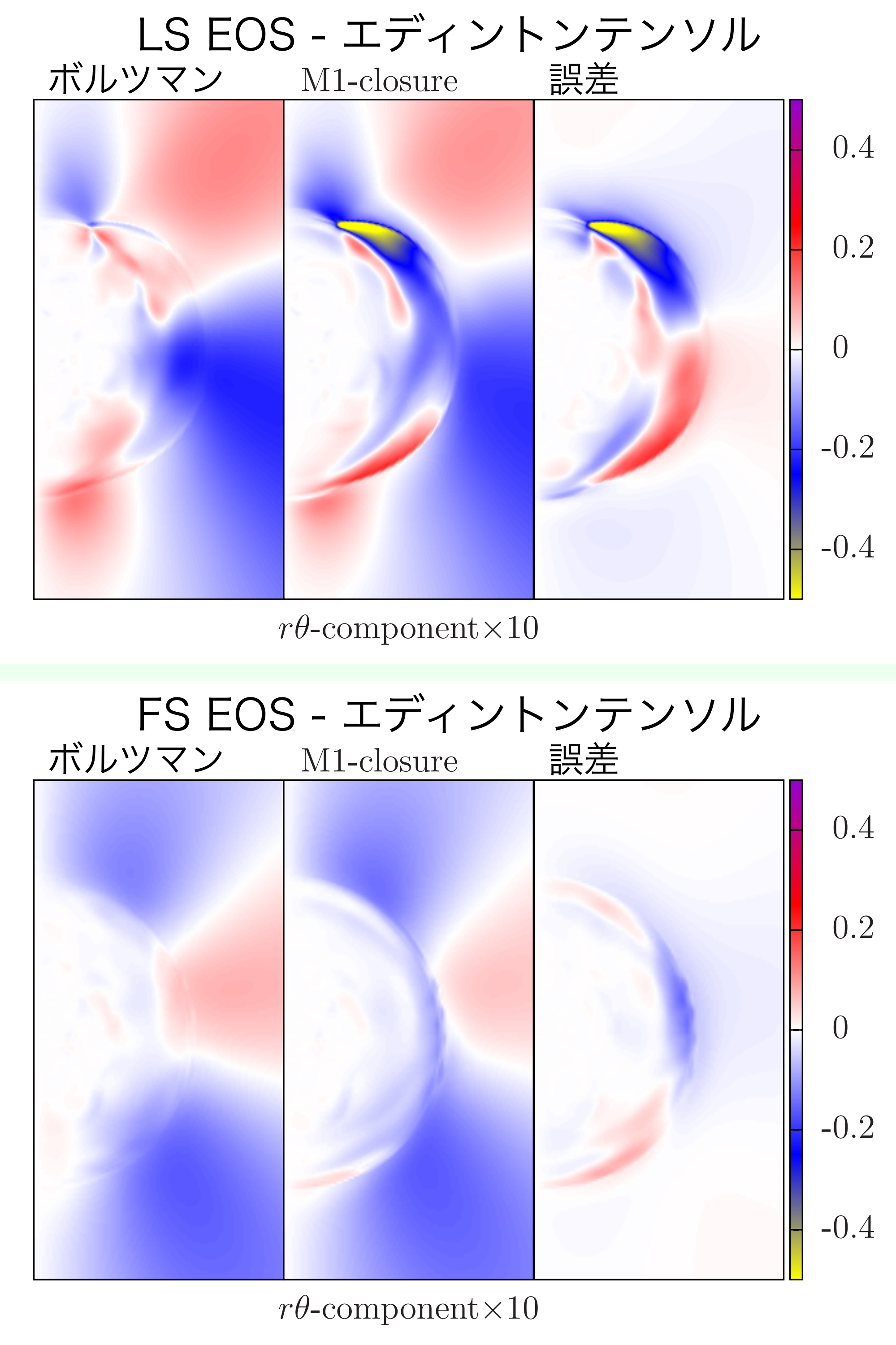
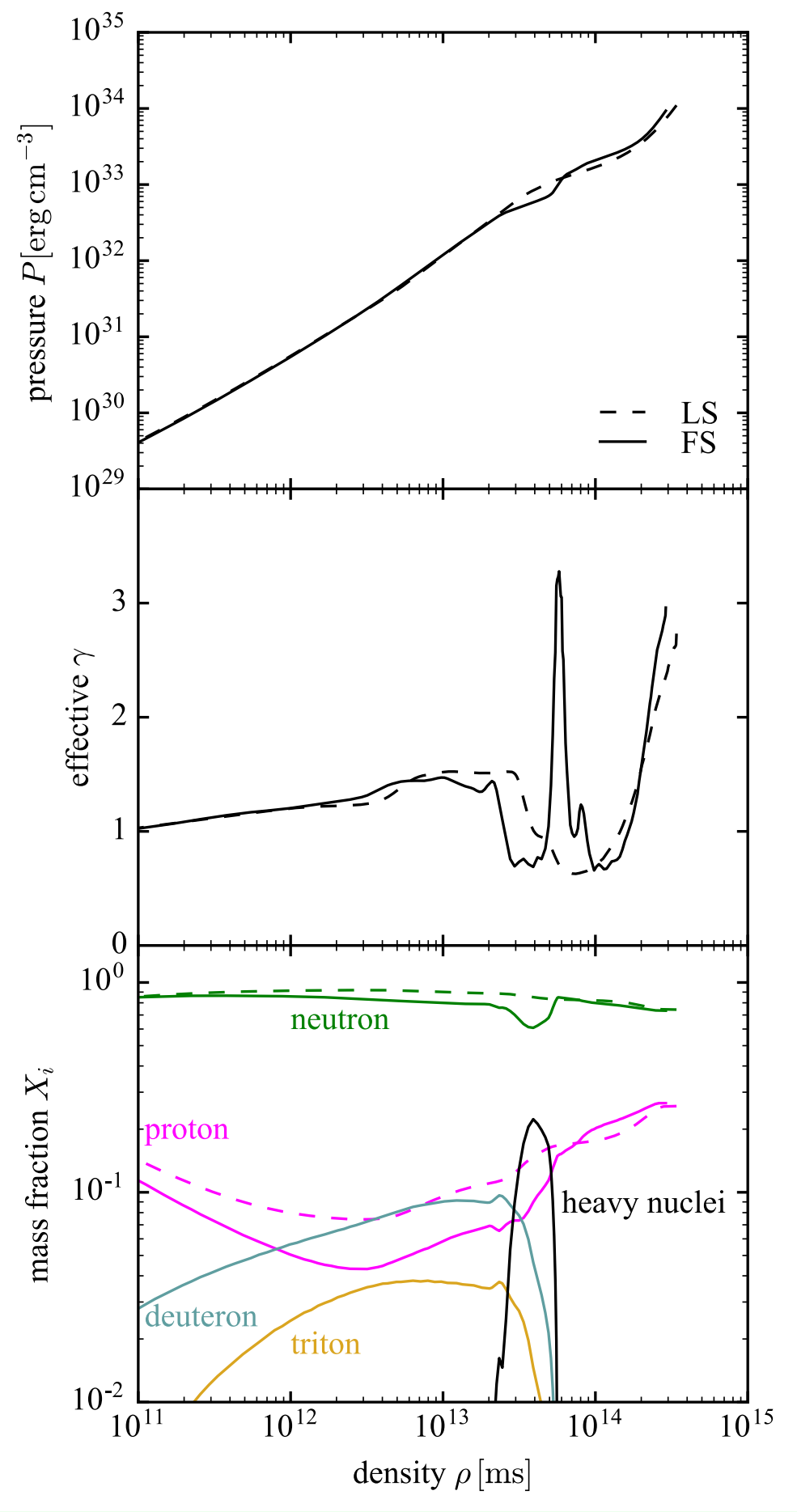
3. Results



衝撃波の進化の違いは乱流の強さの違いによる。LS EOSのほうが乱流が強く発達し、その効果によってニュートリノ加熱が促進され、衝撃波は大きく広がる。
乱流の強さの違いは、バウンス直後の即時対流の強さの違いによる。即時対流はバウンス衝撃波が弱まりながら進むことによって生じる負のエントロピー勾配によって駆動される。LS EOSではFS EOSより多くのエネルギーを降着する原子核の光分解に消費する。そのため、FS EOSよりも早く衝撃波が弱まり、急なエントロピー勾配が生じ、強い対流が発生する。



硬い核力モデルを用いているにも拘わらず、FS EOSのほうが原始中性子星が中心を除いてコンパクトになる。これは核密度より少し低密のところでは多数の原子核が現れるはすが、LS EOSでは原子核存在比の自由度を無視しているため、本来存在する圧力の低い状況を実現できなくなり、実行的に「硬く」なっていることによる。



輻射の2次モーメントであるエディントンテンソルをM1-closure法によって評価すると、強い θ 方向の流れがある場合にその精度が悪くなる。強い乱流が生じるLS EOSの場合には、確かに誤差が大きくなっている。

4. Summary

ボルツマン輻射流体コードを用いてLS EOSとFS EOSを用いた超新星計算を行ったところ、LS EOSによるもののみ爆発した。これはLS EOSのほうが降着する原子核の光分解を強く評価し、衝撃波を弱めて即時対流を強めるためである。また、原子核組成の取り扱いの違いにより、核密度以下ではLS EOSのほうが実行的に硬くなる。さらに、即時対流の違いはニュートリノ輸送近似法の精度にも影響を及ぼす。