

球対称超新星爆発の長時間計算と爆発エネルギーの評価

菊地英仁、鈴木英之、中里健一郎(東京理科大学)、
山田章一(早稲田大学)、住吉光介(沼津高専)

1 Introduction

超新星爆発の数値シミュレーションにおいては

- フルニュートリノ輸送
- 多次元モデル

が重要である一方、本研究では

- 近似ニュートリノ輸送
- 球対称モデル

を用いた

- 長時間計算 (バウンス後 $\sim 10\text{s}$)
- 系統的 (EOS, 親星など), 定性的な議論

に注目した。

2 Scheme

球対称モデル

- 一般相対論的流体力学
- 陰解法

近似ニュートリノ輸送

- Fermi-Dirac 分布
- Flux limiter
- ニュートリノ加熱の現象論的モデル化

3 EOS

Shen-EOS

- NSE
- $\rho \geq 10^6 [\text{g}/\text{cm}^3]$ の領域で使用

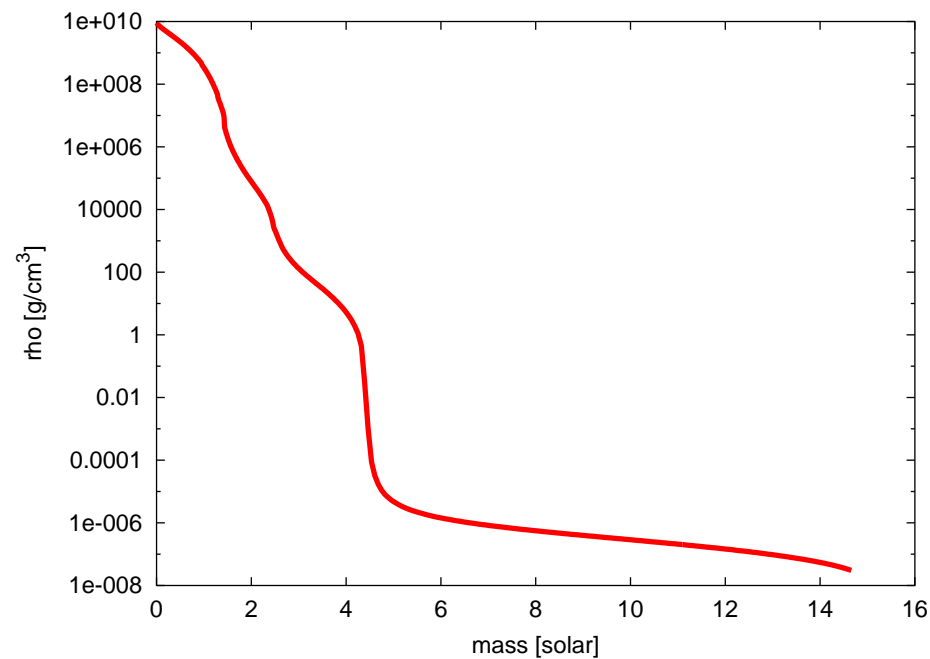
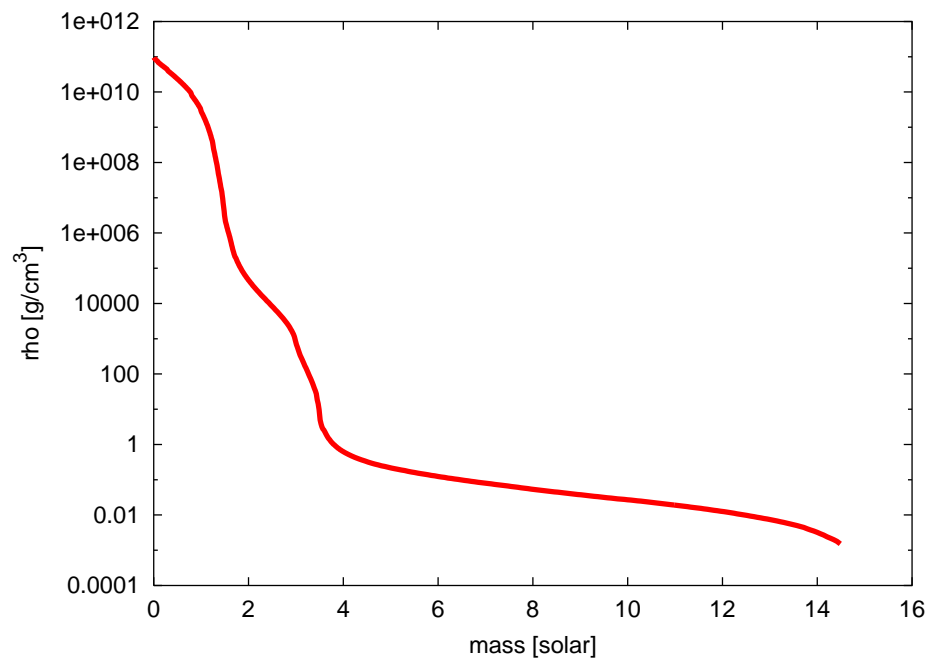
helmholtz EOS (Timmes)

- non-NSE (平均分子量を与える必要がある)
- $\rho \leq 10^{5.2} [\text{g}/\text{cm}^3]$ の領域で使用

これらの中間の領域では、二つのEOSをつないでいる。

NSE領域から non-NSE領域に移る時は、最後にNSEだった時の平均分子量を与える。

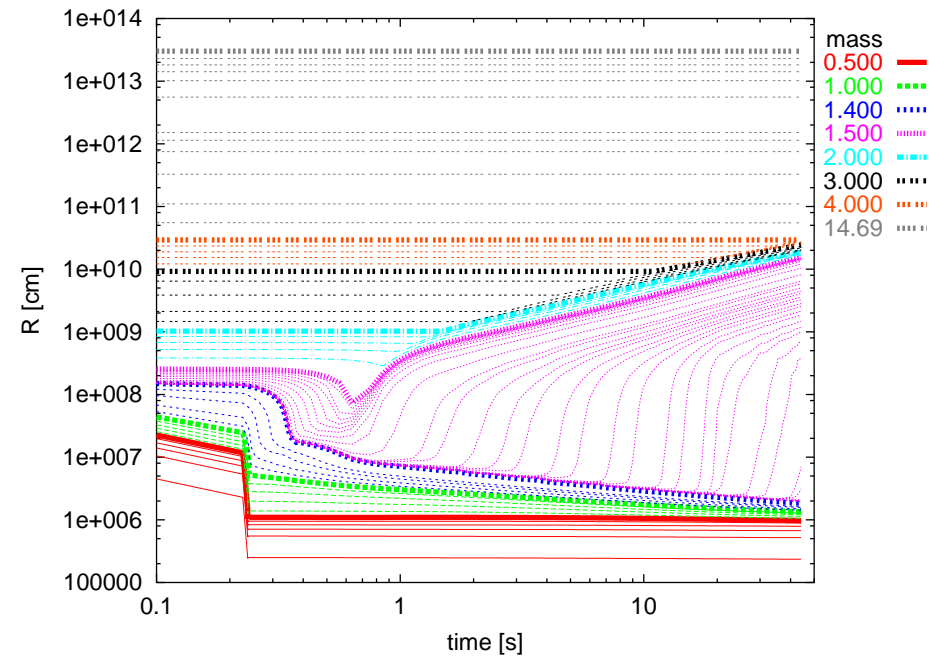
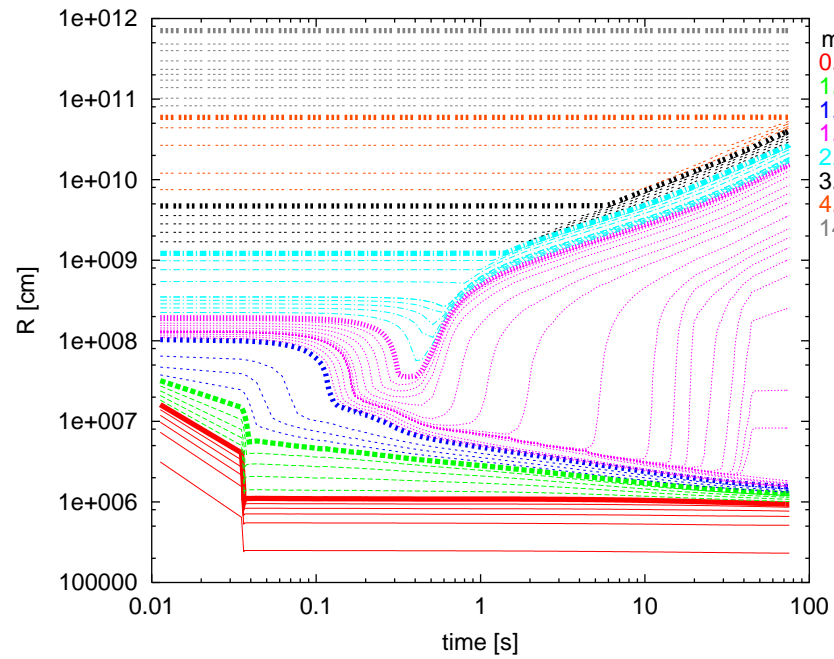
4 初期モデル



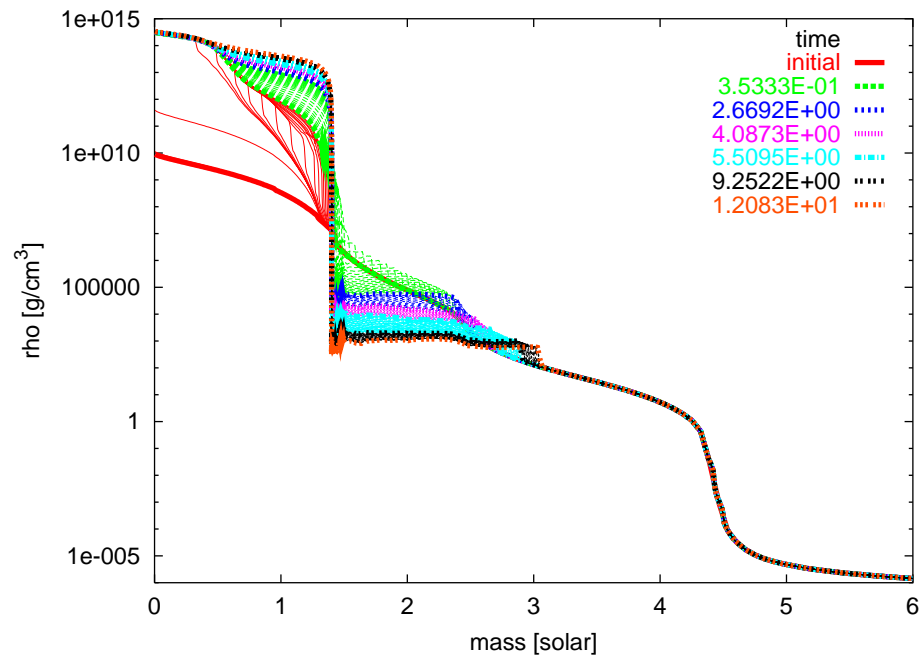
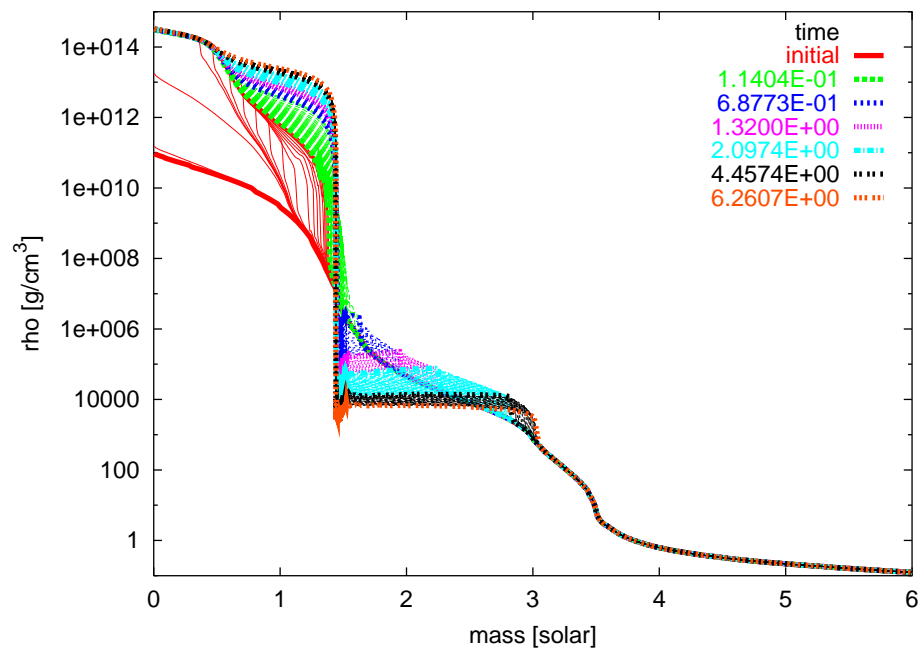
密度分布

(左) Umeda 15Msolar モデル, (右) Woosley 15Msolar モデル

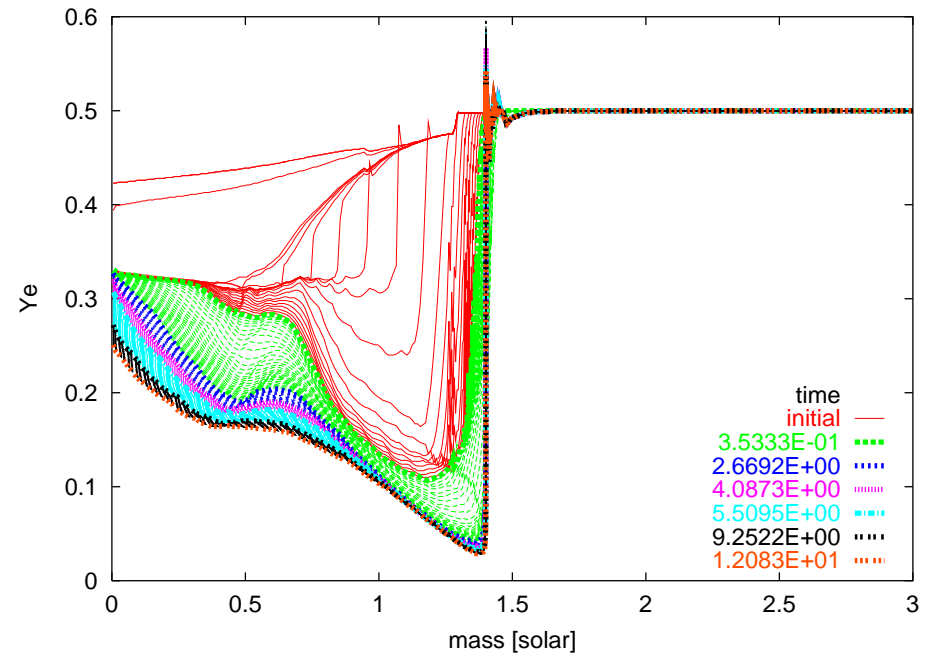
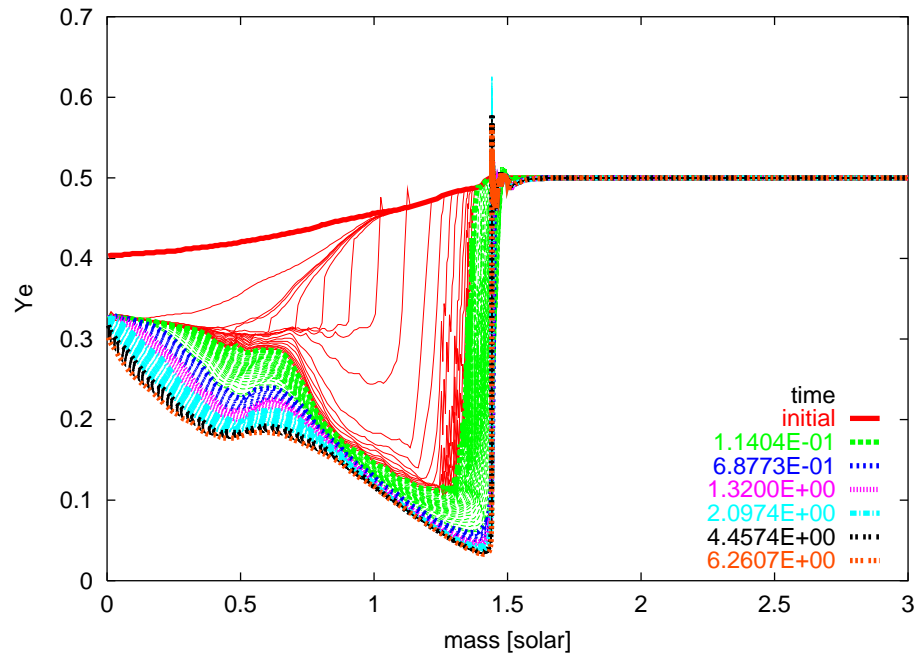
5 結果



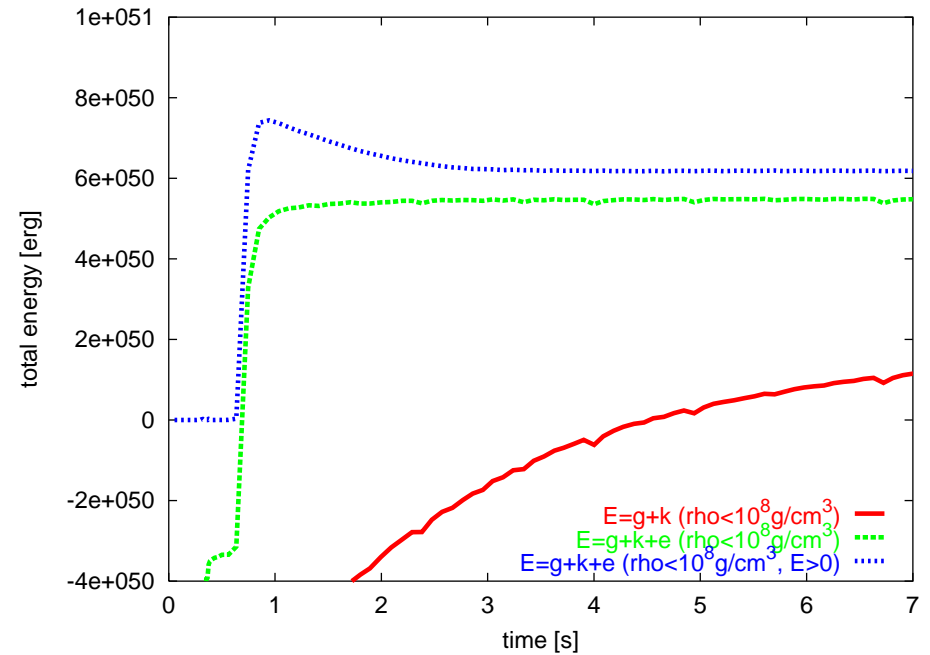
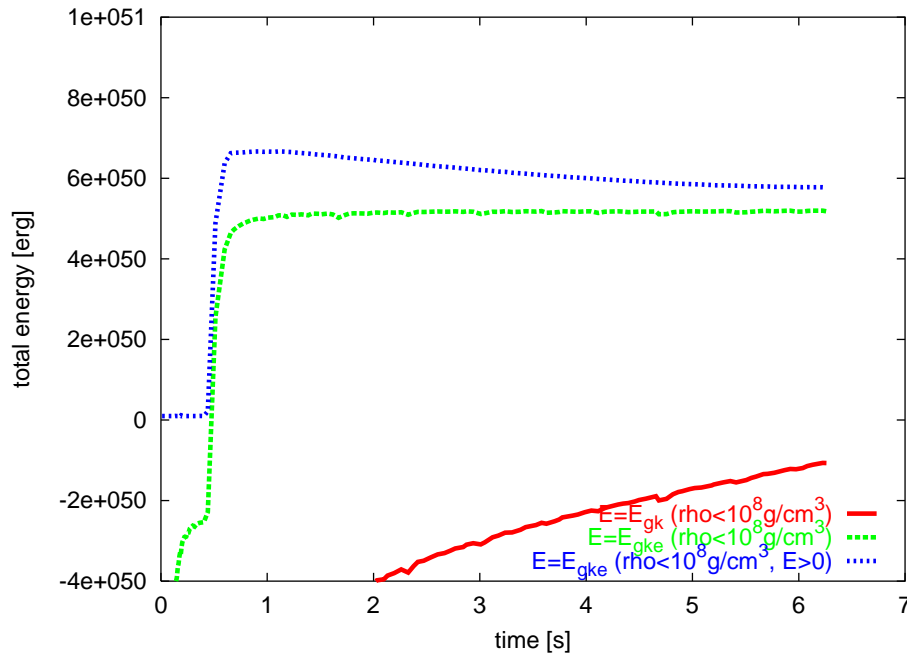
半径の時間変化



密度分布の時間変化

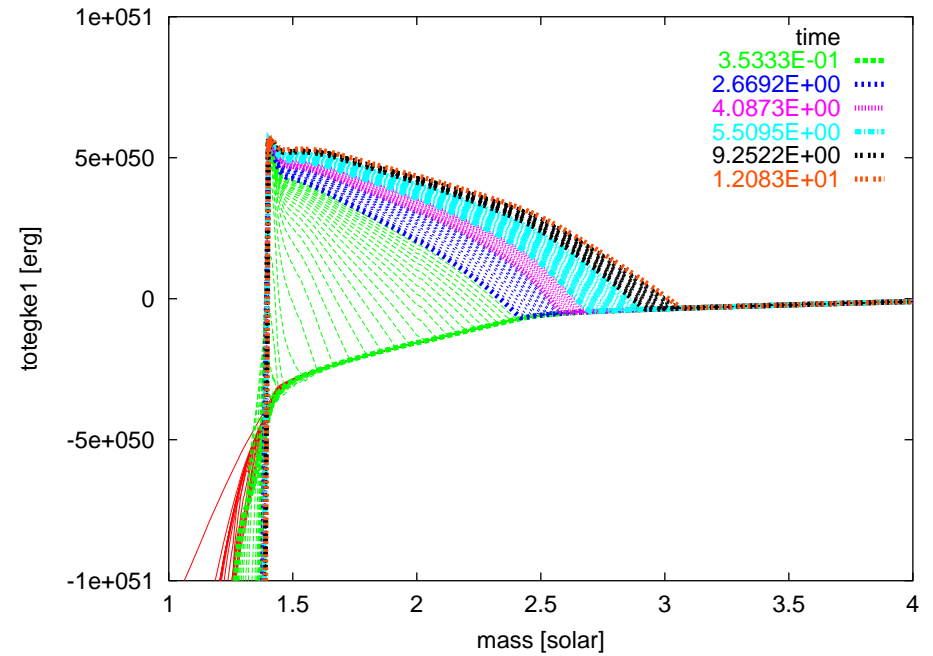
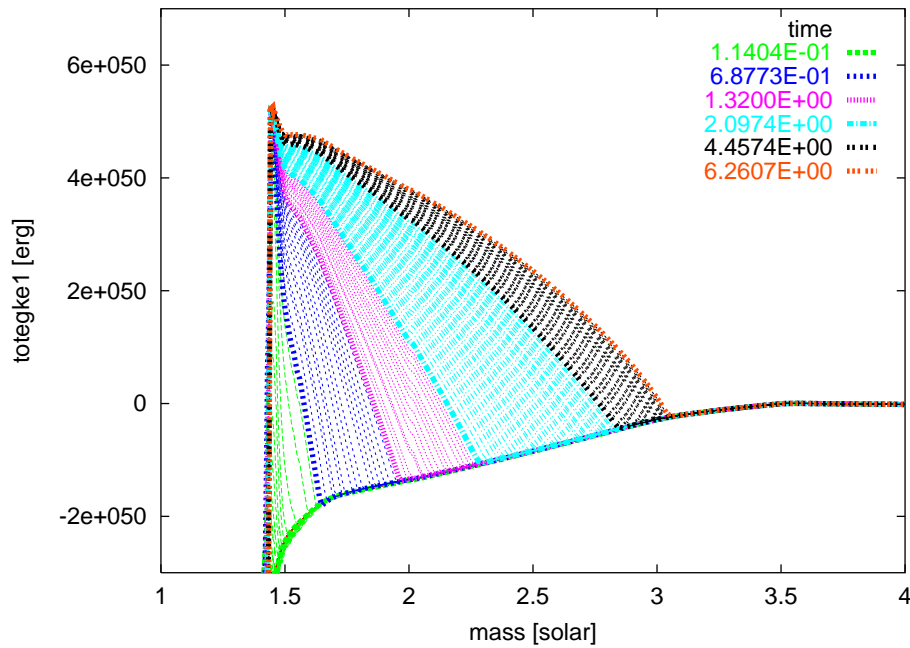


Yeの分布の時間変化



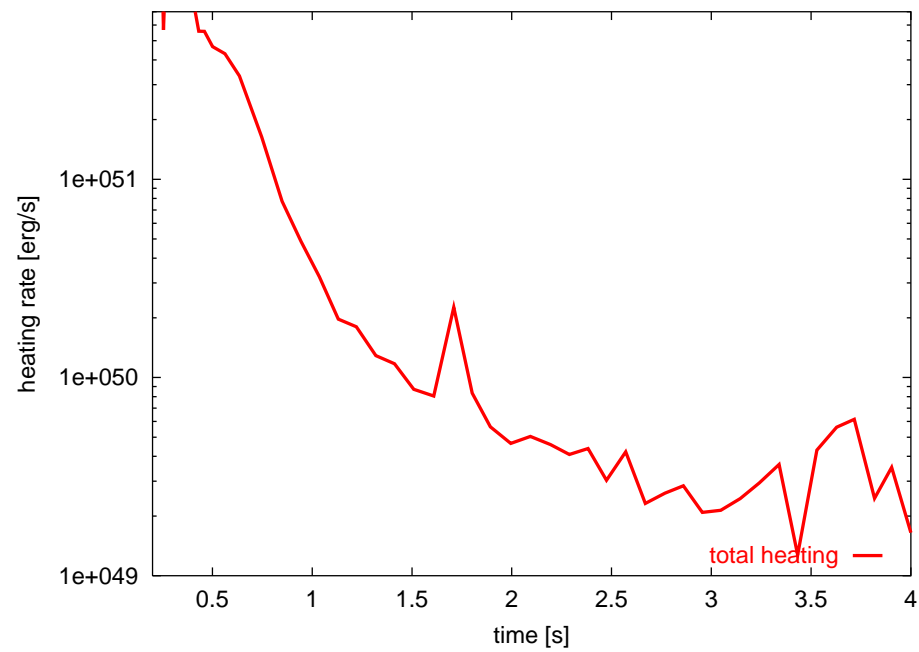
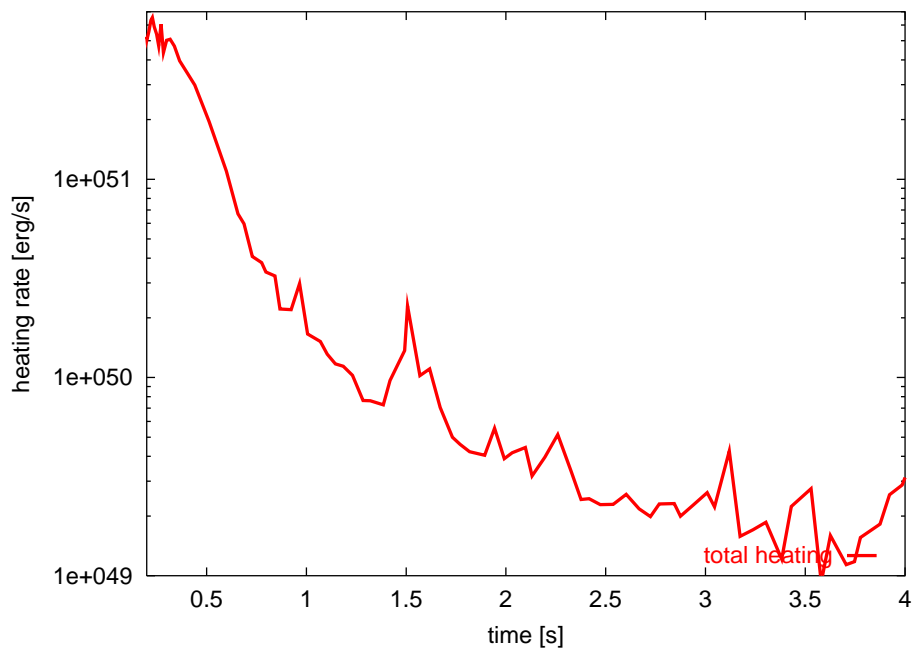
爆発エネルギーの評価

- 重力 + 運動エネルギー ($\rho = 10^8 \text{ g/cm}^3$ の領域)
- 重力 + 運動エネルギー + 内部エネルギー ($\rho = 10^8 \text{ g/cm}^3$ の領域)
- 重力 + 運動エネルギー + 内部エネルギー
($\rho = 10^8 \text{ g/cm}^3, E > 0$ の領域)

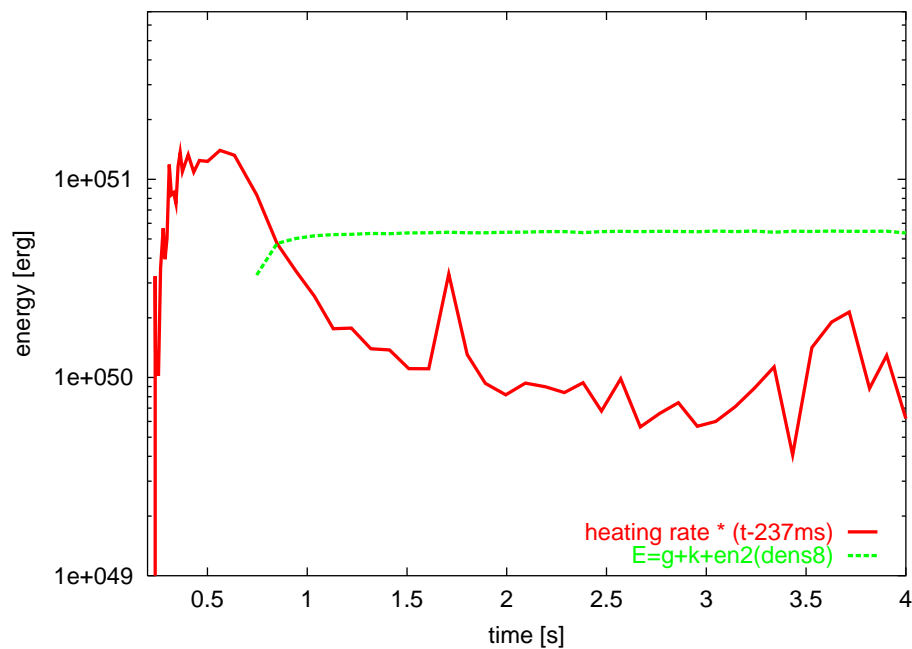
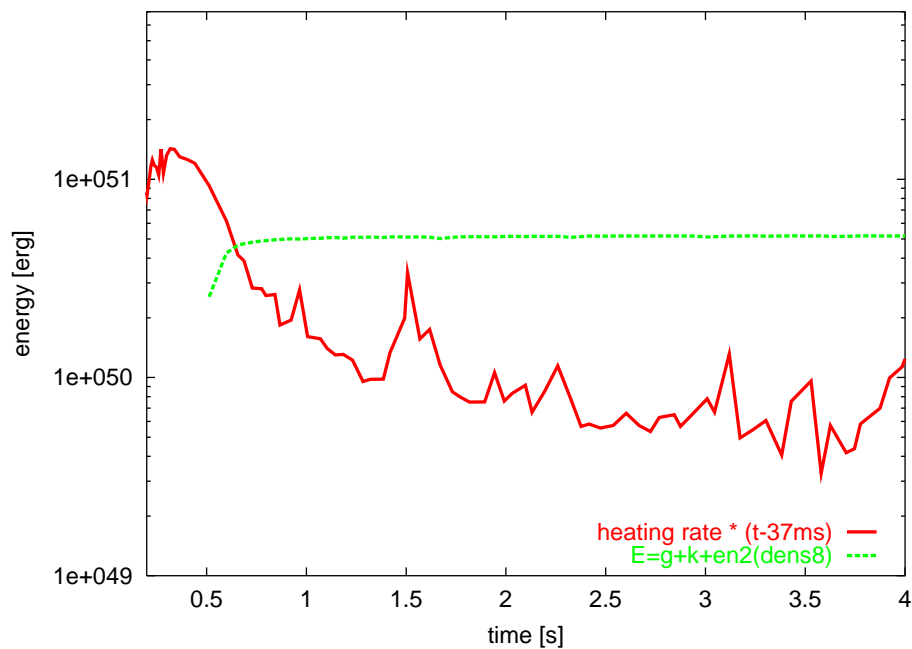


エネルギーの分布 ($\int_m^\infty (dE/dm') dm'$)

バウンス後 ~ 1 s 程度で $\rho < 10^8$ g/cm³ の領域の全エネルギーは一定の値を示す。



加熱領域におけるニュートリノ加熱率 \dot{Q}



E_{exp} と $\dot{Q} \cdot t_{\text{pb}}$ の比較

$E_{\text{exp}} \sim \dot{Q} \cdot t_{\text{pb}}$ となった段階で、最終的な爆発エネルギーの評価が可

6 まとめと今後の展望

- 大質量星の崩壊、はね返り、その後の数十sの進化を、コアから外層までの領域で一貫して計算した。
- 中性子星の外側の領域における全エネルギー (力学的エネルギー + 内部エネルギー) は、バウンス後 ~ 1 秒程度 ($E_{\text{exp}} \sim \dot{Q} \cdot t_{\text{pb}}$ となる時刻) 以降にはほぼ一定の値を示すことを確認した。
- 現段階では、ニュートリノについては ν_e と $\bar{\nu}_e$ についてのみ取り扱っているが、 ν_μ 、 $\bar{\nu}_\mu$ 、 ν_τ 、 $\bar{\nu}_\tau$ についても取り扱う。
- 対流効果について、より定量的な議論ができるようなモデル化の方法を検討する。
- より長時間の進化計算をするための取り扱い方法を検討する。
- 元素合成や、ニュートリノ振動への応用を目指す。