

## 大型シミュレーション研究

### 中性子星およびブラックホール形成時のニュートリノ放出に関する数値シミュレーション 実施報告書

代表者： 鈴木 英之 (すずき ひでゆき) 東京理科大学理工学部 教授

メンバー： 住吉 光介 (すみよし こうすけ) 沼津工業高等専門学校教養科 准教授

山田 章一 (やまだ しょういち) 早稲田大学理工学部 教授

大質量星のコアが重力崩壊して、超新星爆発を起こさずにブラックホールになってしまふケースについて、長時間の球対称数値シミュレーションが行えるようなスライシングを考慮した流体コードや簡易ニュートリノ輸送コードの開発を、小林や菊地と共同で行った。また、久野との共同研究としてニュートリノ-ニュートリノ相互作用を考慮して、超新星コア近傍でのニュートリノ振動を詳しく調べた。その結果、 $10^{50}$ erg/sec より低いニュートリノ光度でもスペクトルスプリットが起こり得ることがわかった。

#### ●一般相対論的重力崩壊シミュレーション

これまで、重力崩壊型超新星爆発に関する研究の多くは爆発機構に焦点が当てられてきたが、近年住吉らによって爆発せずブラックホールが形成される場合の超新星コアの進化やその際のニュートリノ放出に関する研究が行われている。我々はこれまで、ブラックホール形成イベントの光学観測に焦点をあて、中心にブラックホールが形成された大質量星の外層が収縮していく段階を数値シミュレーションを用いて調べてきたが、ブラックホール形成を取り扱うにはあまりふさわしくない time slicing を使用してきた。昨年度から、小林と共同してブラックホール中心の特異点を避ける Polar Slicing を採用したコード開発を行ってきたが、今年度は実際の重力崩壊のテスト計算を行った。さらに、長時間の進化計算を実行するため、Anninos et al. (1995)などを参考に、みかけの地平面を固定座標にとり、シフトベクトルを決めていく計算手法について検討を開始した。

#### ●ニュートリノ-ニュートリノ相互作用を考慮したニュートリノ振動と超新星ニュートリノのスペクトル変化

重力崩壊型超新星爆発の際に放出されるニュートリノは、ニュートリノ振動によってそのエネルギースペクトルが変化することが知られている。特に近年、超新星コア近傍では、ニュートリノの数密度が高く、ニュートリノ同士の相互作用により集団振動が起こることが指摘され注目されている。我々は久野との共同研究により、この集団振動によるニュートリノエネルギースペクトルの変化を調べた。inverted mass hierarchy では、あまり  $\theta_{13}$  の値に依ることなく、高エネルギーの電子型ニュートリノと非電子型ニュートリノのスペクトルが入れ替わるスペクトルスプリットが起こることが知られているが、我々はニュートリノ球におけるエネルギースペクトルの形や、ニュートリノ光度を変化させて、その影響を調べた。その際、ニュートリノの経路としてさまざまな角度方向へ伝播する効果を取り入れた multiangle 計算と、動径方向一本の single angle 計算を行い、後者でも良い近似になっていることを確認した。計算の結果、ニュートリノ光度は、集団振動の非線型性に強くかかわるが、 $10^{50}$ erg/sec を下回るような弱いフラックスでも集団振動を起こし得ることが判明した。

## 口頭発表

- 久野昌哉、鈴木 英之, 超新星ニュートリノの集団振動によるエネルギースペクトルの変化、天文学会, 2009年9月14日, 山口大学