

研究責任者名 Name	鈴木 英之 Hideyuki Suzuki	所属機関 Affiliation	東京理科大学工学部 Tokyo University of Science
受理番号 Proposal No.	大型 10-19	研究課題名 Program title	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 Numerical simulations concerning neutrino emission at the formation of neutron stars and black holes

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

菊地との共同研究によって、大質量星のコアの重力崩壊とその後の内部コアのバウンス、コアの爆発、外層の爆発を一貫しておえるような計算コードを開発して、原始中性子星の形成と冷却、ならびに爆発にいたる段階での原始中性子星周辺の状態変化を計算した。フェルミ分布を仮定したニュートリノ輸送と山田の作成した一般相対論的な球対称流体計算コードの組み合わせにより 0(100)秒間の進化をおえるようになり、梅田らとの共同研究により爆発時に放出される元素分布の計算も開始した。また、富樫、鷹野らと、新たな状態方程式数値テーブル作成に向けて、トーマスフェルミモデルによる原子核の自由エネルギー最小化の計算手法を検討し、現時点ではシンプレックス法と準ニュートン法の組み合わせが有望であることがわかった。

(英文)

In collaboration with Kikuchi, we developed a numerical code with which we could calculate successive stages: onset of core collapse, core bounce, core explosion, and shock wave propagation through the stellar envelope in one numerical simulation. Using this code, we study the birth of protoneutron star and its cooling to the ordinary cool neutron star with blowing neutrino wind. Our code consists of neutrino transfer part in which we approximate the neutrino distribution with Fermi-Dirac distribution, and general relativistic spherical hydrodynamics part developed by Yamada. We could calculate the evolution for a span of 0(100)sec and started collaboration with Umeda group concerning nucleosynthesis at the explosion. In addition, in collaboration with Togashi and Takano, we are going to make a new numerical table of equation of states for supernova matter. We investigated optimization methods for nuclear free energy in Thomas-Fermi model and found that combination of simplex method and quasi-Newton method is promising.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読付きの学術論文数	プロシーディング論 文数	その他（投稿中を 含む）
	3	0	0	0

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表
1. 鈴木 英之, Neutrinos from supernovae and failed supernovae, the 11th International Workshop on Next Generation Nucleon Decay and Neutrino Detectors, 2010年12月13日, 富山国際会議場
2. 菊地英仁、鈴木英之、山田章一、住吉光介, 拡散近似ニュートリノ輸送による球対称超新星爆発の長時間シミュレーション, 物理学会, 2011年3月16日, 筑波大学
3. 菊地 英仁、鈴木 英之、山田 章一、住吉 光介, 球対称拡散近似ニュートリノ輸送による超新星爆発の長時間シミュレーション, 物理学会, 2011年3月25日, 新潟大学
査読付きの学術論文(URLを記載)
プロシーディング論文(URLを記載)
その他（学位論文、紀要、投稿中の論文を含む）(URLを記載)
特記（本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など）

高エネルギー加速器研究機構・大型シミュレーション研究成果報告
SR11000・BlueGene/L システム（2006年3月から2011年1月）の研究のまとめ

研究責任者名 鈴木 英之
所属機関 東京理科大学理工学部
研究課題名 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

我々は、SR11000 システムと所有する PC サーバーなどを用いて、重い星のコアの重力崩壊に伴うニュートリノ放出に関する以下のような研究を行った。

まず、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うケースについて、住吉らとの共同研究によってニュートリノバーストが高密度物質の状態方程式のプロブとなりうることを明らかにした。40 太陽質量の星のコアの重力崩壊からブラックホール形成に至る数値シミュレーションにより、コアバウンス、衝撃波の停滞の後、原始中性子星が再び重力崩壊を起こすまでの時間が、高密度物質の状態方程式によって大きく異なり、ニュートリノによる観測で区別できることなどを明らかにした。複数の親星のモデルを使った数値シミュレーションの結果からは、コア周りの密度分布が、放出されるニュートリノバーストの時間発展に大きく影響することなどを明らかにした。また、中里との共同研究により、このようなブラックホール形成時に放出されるニュートリノを、Super-KAMIOKANDE のような検出器で観測する場合のニュートリノイベントの特徴などを、ニュートリノ振動も考慮して詳しく解析した。複数の状態方程式を用いた計算結果を統計的に解析することで、将来のニュートリノ観測によるハドロン物質の状態方程式の識別可能性について、ニュートリノバーストの継続時間が状態方程式に強く依存することに加え、同じような継続時間になる場合でも、ニュートリノ光度の時間変化が異なるため、検出器内のニュートリノイベントの時間分布から状態方程式の識別が可能であることを明らかにした。

また、小野との共同研究として、ダークエネルギーに関して提唱されているさまざまなモデルについて、超新星背景ニュートリノのフラックスやエネルギースペクトルを計算し、超新星背景ニュートリノがダークエネルギーのモデルからどのような影響を受けるのかを調べた。その結果、現行の観測機器でダークエネルギーの判別は困難であるが、検討されている次世代大型観測施設を使えば、GCG モデルから期待される観測イベント数は、統計誤差を考慮しても他の Λ CDM モデルや Holographic DE モデルと区別が可能であることを示した。

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系統的に調べた。その結果、 $10E50\text{erg/sec}$ より低いニュートリノ光度でも非線形効果であるスペクトルスプリットが起こり得ること、ニュートリノ球をでるニュートリノのエネルギースペクトルによっては、マルチスプリットなど複雑な現象が起こること、ニュートリノの質量階層が順階層である場合でも 13 混合核が大きければ、スペクトルスプリットが起こり得ることなどを確認した。

菊地との共同研究では、大質量星のコアの重力崩壊とその後の内部コアのバウンス、コアの爆発、外層の爆発を一貫しておえるような計算コードを開発して、原始中性子星の形成と冷却、ならびに爆発にいたる段階での原始中性子星周辺の状態変化を計算した。フェルミ分布を仮定したニュートリノ輸送と山田の作成した一般相対論的な球対称流体計算コードの組み合わせにより $O(100)$ 秒間の進化をおえるようになり、梅田らとの共同研究により爆発時に放出される元素分布の計算も開始した。

状態方程式に関する研究では、塩見と共同で、重い星のコアの重力崩壊段階における核統計平衡状態の元素組成と、Shen らの状態方程式による代表的原子核の比較を行い、電子捕獲率やニュートリノ散乱率に大きな違いが存在することを確認した。また、富樫、鷹野らと、新たな状態方程式数値テーブル作成に向けて、トーマスフェルミモデルによる原子核の自由エネルギー最小化の計算手法を検討し、現時点ではシンプレックス法と準ニュートン法の組み合わせが有望であることがわかった。