



## 成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

### (1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

#### 査読付き論文雑誌

- Gravitational collapse and neutrino emission of population III massive stars,  
K. Nakazato, K. Sumiyoshi and S. Yamada,  
Astrophysical Journal 645 (2006) 519-533.
- Neutrino signals from the formation of a black hole: A probe of the equation of state of dense matter,  
K. Sumiyoshi, S. Yamada, H. Suzuki and S. Chiba,  
Physical Review Letters 97 (2006) 091101.
- Numerical study on stellar core collapse and neutrino emission: probe into the black hole progenitors,  
K. Nakazato, K. Sumiyoshi and S. Yamada,  
Astrophysical Journal, submitted.

#### 査読付き論文雑誌（国際会議）

- Gravitational collapse and neutrino emission of population III massive stars,  
K. Nakazato, K. Sumiyoshi and S. Yamada,  
in Proceedings of the 3rd 21COE Symposium: Astrophysics As Interdisciplinary Science,  
Tokyo, Japan, 2005,  
Journal of Physics: Conference Series 31 (2006) 205?206.
- Neutrino-nucleus interactions and supernova modeling,  
K. Sumiyoshi,  
in Proceedings of 4th International workshop on neutrino-nucleus interactions in the few-GeV region (NuInt05) Okayama University, Okayama, Japan, 2005,  
Nuclear Physics B159 (2006) 27c-32c.
- Influence of equation of state in supernova simulations: neutrinos from proto-neutron star and black hole formation,  
K. Sumiyoshi,  
in Proceedings of Yukawa International Seminar (YKIS06) 2006 New Frontiers in QCD - Exotic Hadrons and Hadronic Matter - YITP, Kyoto, Japan, 2006,  
Progress of Theoretical Physics Supplement, submitted.

#### 国際会議プロシーディングス

- Core-collapse supernovae, neutron stars and black holes in the light of physics of unstable nuclei,  
K. Sumiyoshi,  
in Proceedings of the 6th China Japan Joint Nuclear Physics Symposium, Shanghai, China, 2006,  
American Institute of Physics Conference Proceedings 865 (2006) 215-220.

#### 口頭発表 (国際会議)

- Core-collapse supernovae, neutron stars and black holes in the light of physics of unstable nuclei,  
K. Sumiyoshi,  
The 6th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium, Shanghai, China, 2006. 5 (Invited Talk)
- Influence of nuclear equation of state in core-collapse supernovae,  
K. Sumiyoshi,  
In Heaven and on Earth 2006, The Nuclear Equation of State in Astrophysics, Montreal, Canada, 2006. 7 (Invited Talk)
- Influence of equation of state in supernova simulations: neutrinos from proto-neutron star and black hole formation,  
K. Sumiyoshi,  
Yukawa International Seminar (YKIS06) 2006, New Frontiers in QCD - Exotic Hadrons and Hadronic Matter - YITP, Kyoto, Japan, 2006. 12 (Invited talk)

#### 口頭発表 (国内会議)

- ニュートリノ輸送流体計算による原始中性子星・ブラックホール形成  
住吉光介、山田章一、鈴木英之  
日本天文学会、年会、2006.3
- 大質量星重力崩壊によるブラックホール形成と状態方程式  
住吉光介、山田章一、鈴木英之、千葉敏  
日本物理学会、奈良女子大学、2006.9
- ニュートリノ輻射流体計算による超新星爆発・ブラックホール形成・ニュートリノシグナルの研究  
住吉光介  
大規模シミュレーションプロジェクト・ユーズーズミーティング国立天文台天文シミュレーションプロジェクト、2006.11
- 超新星爆発シミュレーションと高密度物質状態方程式  
住吉光介  
特定領域研究「ストレンジネスで探るクォーク多体系」研究会  
熱海、2006.12
- Neutrinos from black-hole-forming supernovae and equation of state of dense matter  
K. Sumiyoshi  
研究会「超新星を舞台とする高エネルギー物理現象」東京大学、2007.2
- 超新星コア状態方程式とニュートリノ  
住吉光介  
RCNP 研究会「超新星爆発とニュートリノ・原子核反応」大阪大学核物理研究センター (RCNP)、2007.3
- 超新星爆発状態方程式データテーブルの現状と課題

住吉光介

Numazu Workshop on Supernova EOS、沼津高専、2007.3

- ブラックホール形成時のニュートリノ放出における状態方程式の影響

住吉光介、山田章一、鈴木英之

日本物理学会、首都大学東京、2007.3

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

#### 査読付き論文雑誌

- Variational calculation for equation of state of nuclear matter at finite temperatures, H. Kanzawa, K. Oyamatsu, K. Sumiyoshi and M. Takano, Nuclear Physics A (2007), in press; nucl-th/0701069.

#### 査読付き論文雑誌 (国際会議)

- Shock wave propagation in prompt supernova explosion and the MSW effect of neutrino, S. Kawagoe, T. Kajino, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and S. Yamada, in Proceedings of Ninth International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2005) Zaragoza, Spain, 2005, Journal of Physics: Conference Series 39 (2006) 294-296.

#### 国際会議プロシーディングス

- Clusters and condensates in the nuclear matter equation of state, G. Roepke, A. Grigo, K. Sumiyoshi and H. Shen, in Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Superdense QCD Matter and Compact Stars, Yerevan, Armenia, 2003, NATO Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry - Vol. 197 (Springer, Dordrecht, 2006), 75-91.

#### 成果の概要

重力崩壊型超新星爆発メカニズムの解明は宇宙物理学の長年の懸案であり、銀河の進化・高密度天体の形成・重元素の起源を明らかにするための基本的な重要課題である。多次元流体計算による対流・磁場の影響や、ニュートリノ輻射流体計算の厳密な取り扱い、の視点から一つずつ問題を解決することが必要である。我々の研究プロジェクトでは、ニュートリノ輸送流体を厳密に扱う手法の元で、超新星爆発メカニズム解明の研究を行ってきた。こうした爆発メカニズム解明とともに、重力崩壊により形成される高密度天体の最期の運命を決めるのも根源的な研究課題の一つである。中性子星が残されるのか、それともブラックホールになってしまうのか、大質量星の進化の末路を決定することや、ブラックホールが形成される場合において、通常の超新星爆発現象との相違点、ニュートリノシグナルの特徴、を系統的に明らかにする研究は、これまで世界的にも行われてきていない。

本年度の研究では、親星の質量が十分に重い場合に、重力崩壊から、バウンス後に形成される原始中性子星がブラックホール形成に至るまでの熱的進化・ニュートリノ放出を定量的に明らかにすることを主に行なった。大質量星の質量による違い、金属量による違い、星進化モデル計算による違いを系統的に明らかにして、宇宙史における大質量星の役割、質量の違いによるブラックホール形成シナリオを確立し、ニュートリノシグナルの予測を行なうための数値シミュレーションを行なった。

我々の数値シミュレーションは、一般相対論的ニュートリノ輻射流体計算コードにより、大質量星の鉄コアの初期条件から初めて、重力崩壊・コアバウンス・衝撃波発生・原始中性子星形成・ブラックホール形成へ至る様子までを一貫して追うものである。前年度までに、太陽質量の40倍の親星の場合に、超新星爆発が起きずにブラックホールが形成される現象を解明したので、初期条件として進化モデルの異なる親星を新たに二種類を採用して数値シミュレーションを実行した。状態方程式についての依存性についても比較するために、各々について、2つのセットの状態方程式を用いた計算を行なった。

まず、太陽質量の50倍の親星の場合についての結果により、我々が前年度に示した、大質量星の重力崩壊によるブラックホール形成のシナリオが普遍的であることが明らかになった。重力崩壊の後、コアバウンスを経て、原始中性子星が形成されて約1秒でブラックホールが形成されるという熱的進化は共通であった。この際に放出されるニュートリノの性質も急激なエネルギー・光度増加と短いバーストという特徴で共通であった。状態方程式による違いは顕著に現れており、Lattimer-Swestyによる状態方程式の場合は0.5秒、Shen et al.による状態方程式の場合は1.5秒でブラックホールに至る再崩壊を起こすことがわかった。これによりブラックホール形成時のニュートリノ放出の継続時間測定によって、状態方程式の柔らかさ・堅さの情報を引き出すことが可能であることを確立することができた。また、この星は金属量ゼロのモデルであり、過去に遡っても、同様なブラックホール形成が起こり、ニュートリノ放出を伴うことが明らかになったので、宇宙背景ニュートリノにおける寄与についても示唆を与えた。

次に、進化モデルが異なるが、質量は同じ親星(太陽質量の40倍)の場合についての計算結果は、親星の外層の密度分布の構造がニュートリノ放出の継続時間に影響を及ぼすことを明らかにした。密度分布勾配がゆるやかな場合は、外層の密度が高く、典型的な自由落下時間が短いため、降着率が大きくなる。このため、原始中性子星の質量が最大質量を越えるまでの時間が短くなることが分かった。ただし、この違いは、状態方程式による違いが分からなくなる程ではないことも分かった。総じて、大質量星の重力崩壊によるブラックホール形成の普遍的な性質を解明することができた。

これらの研究により、地球上でのブラックホール形成ニュートリノ検出へ向けてデータを提供することができるようになった。また、線バーストなどブラックホール・非対称性を伴う現象の解明へ向けて基礎を作ることができた。研究成果は、天文学会、物理学会、研究会、国際会議で発表を行なった他、国際会議録に収録され、本論文の投稿を準備中である。この他、磁場を伴う場合に、アルフベン波が超新星爆発に与える影響について調べて、失速した衝撃波を復活させるのに十分な寄与があることを数値シミュレーションにより示した。また、高温高密度でストレンジネスを含む状態方程式の新しいデータテーブルを用いた重力崩壊計算を行ない、バウンス後に温度の効果でハイペロンが出現することを発見した。これらについては、シミュレーション計算を継続している所である。