

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

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

評価資料として利用いたしますので、様式・順序は任意ですが、学术论文については題名、著者、発行年月、雑誌名、巻、ページが記載されていること。

項目の説明の文章などは消去して報告内容を記述しても構いません。

< 査読つき論文雑誌 >

2. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Numerical Study on Stellar Core Collapse and Neutrino Emission: Probe into the Spherically Symmetric Black Hole Progenitors with 3 - 30 M_{\odot} Iron Cores”

Astrophysical Journal (2007) submitted.

1. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Gravitational Collapse and Neutrino Emission of Population III Massive Stars”

Astrophysical Journal 645 (2006) 519.

< 国際会議集録 >

2. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Gravitational Collapse and Neutrino Emission of Population III Massive Stars”

Proceedings of Relativistic Astrophysics and Cosmology - Einstein's Legacy (Springer-Verlag, 2007), in press.

1. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Gravitational Collapse and Neutrino Emission of Population III Massive Stars”

J. Phys.: Conf. Ser. 31 (2006) 205-206, Proceedings of The Third 21COE Symposium : Astrophysics as Interdisciplinary Science.

< 国際会議 >

4. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Neutrino Emission from Stellar Core Collapse and Black Hole Formation”

Twenty years after Supernova 1987A

(ポスター発表、2007年2月、アメリカ合衆国・ハワイ)

3. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;

“Neutrino Emission from Stellar Core Collapse and Black Hole Formation”

The 16th Workshop on General Relativity and Gravitation

(口頭発表、2006年11月、新潟県民会館)

2. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;
“Gravitational Collapse and Neutrino Emission of Population III Massive Stars”
Relativistic Astrophysics and Cosmology - Einstein’s Legacy -
(口頭発表、2005年11月、ドイツ・ミュンヘン)

1. K.Nakazato, K.Sumiyoshi & S.Yamada;
“Gravitational Collapse and Neutrino Emission of Population III Massive Stars”
The Third 21COE Symposium : Astrophysics as Interdisciplinary Science
(ポスター発表、2005年9月、早稲田大学)

< 国内研究会 >

2. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ ブラックホール形成に伴うニュートリノ放出 ”
2006年度第19回理論懇シンポジウム「理論天文学の進歩」
(ポスター発表、2006年12月、立教大学)

1. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ Pop III 大質量星の重力崩壊と Relic Neutrino ”
2005年度第18回理論懇シンポジウム「高エネルギー天体物理学の最前線」
(ポスター発表、2005年12月、京都大学基礎物理学研究所)

< 国内学会 >

5. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ 鉄コアの重力崩壊におけるニュートリノ中性子化バーストの解析 ”
日本天文学会, 東海大学, 2007年3月(口頭発表)

4. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ ブラックホール形成に伴うニュートリノ放出 ”
日本物理学会, 奈良女子大学, 2006年9月(口頭発表)

3. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ 鉄コアの重力崩壊における質量依存性 ”
日本天文学会, 和歌山大学, 2006年3月(口頭発表)

2. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ Pop III 大質量星の重力崩壊に伴うニュートリノ放出 ”
日本天文学会, 札幌コンベンションセンター, 2005年10月(口頭発表)

1. 中里健一郎, 住吉光介, 山田章一;
“ ニュートリノ輸送を考慮した Pop III 大質量星の重力崩壊 ”
日本天文学会, 明星大学, 2005年3月(口頭発表)

成果の概要

(必要に応じてページを加えて下さい。)

宇宙が生まれた後、一番最初に出来たと考えられる Population III (Pop III) star に関する研究は、それ以降の宇宙の化学進化、ひいては宇宙全体の歴史を理解する上で避けて通れない問題である。これらの星には、太陽質量の 1000 倍程度のものであった可能性が理論的に指摘されており、それが質量放出をすることなくほとんどそのままの質量で進化するとされている。特に $10M_{\odot}$ を超える星については、進化の最後に重力崩壊を起こしてその質量によって超新星かブラックホールになると考えられている。具体的には、 $10\text{-}25M_{\odot}$ の星では通常の重力崩壊型超新星となり中心に中性子星を残し、 $25\text{-}40M_{\odot}$ の星では重力崩壊型超新星にはなるもののブラックホールが残るとされる。さらに、 $40\text{-}140M_{\odot}$ および $260M_{\odot}$ 以上の星では超新星にならず直接ブラックホールが形成され、 $140\text{-}260M_{\odot}$ の星ではいわゆる Pair-Instability Supernova となり、何も残らないと考えられている (Heger et al. 2003)。本研究課題ではこのような Pop III 大質量星のうち、直接ブラックホールになるとされる質量のモデルにたいして重力崩壊の計算を行った。

まず、 $300\text{-}13500M_{\odot}$ の質量をもつ 18 モデルにたいして、仮想的に作成した平衡形状の星を初期モデルに使用して重力崩壊の計算を行ない、それに伴って放出されるニュートリノのルミノシティやエネルギースペクトルを系統的に解析した。その結果、放出ニュートリノのスペクトルはモデルにあまり依存しないことがわかった。これは重い星でもニュートリノによる冷却が強く効いて、星の中心付近では軽い星とあまり変わらない状態になるためである。このことから、重力崩壊で放出されるニュートリノを足し上げたものが、現在の地球上でバックグラウンドとして観測できれば、Pop III star の星形成史に示唆を与えられることを示した。なおこの成果は、Astrophysical Journal 誌に掲載された。(成果リストの < 査読つき論文雑誌 > の 1.)

次に、 $100M_{\odot}$ の質量をもつモデルにたいして、Nomoto et al. (2005) による現実的な星の進化計算の結果を初期モデルに使用して重力崩壊の計算を行なった。その結果、ブラックホールが形成される前に、一旦、重力崩壊が跳ね返される (バウンス) ことがわかった。これは、通常の超新星 ($15M_{\odot}$ 程度) におけるバウンスとは異なり、高温のために原子核が融けて生成された核子の熱的圧力によるものである。このため重力崩壊開始からブラックホール形成までには 0.4 秒程度時間がかかり、この間もニュートリノが大量に放出されることがわかった。また、バウンスの際に電子型ニュートリノがバースト的に放出される現象が、通常の超新星では知られているが、今回の重力崩壊でも通常の超新星ほど顕著ではないものの、このバーストが見られた。顕著でなくなる理由は、バウンスのメカニズムが通常の超新星と異なり、バウンスが低密度で起こるためである。また、これに関連して仮想的な平衡形状の星の重力崩壊の計算も系統的に行い、その結果と比較することで上の考察が正しいことを示した。これらの現象は、Pop III star が high redshift であることを考えると、現実の天体現象として観測することは困難だが、重力崩壊の物理の新しい側面を切り開いたという意味では興味深いものであると考えている。なおこの成果は、Astrophysical Journal 誌に投稿中である。(成果リストの < 査読つき論文雑誌 > の 2.)

さらにわれわれは、 $100M_{\odot}$ のモデルで、ブラックホール形成直前に内部の密度は核密度の 10 倍程度に達することを発見した。このような高密度ではクォークの解放が起こる

ことが予測されており、この場合、核子を基本要素とする状態方程式を用いることは不適切となる。そこで、我々は高温・高密度における QCD 相転移を含んだ状態方程式テーブルを作成し、そのもとで同じモデルの重力崩壊計算を試みた。まだ系統的な解析は終わっていないが、定性的には星の内部での QCD 相転移が起こることで、状態方程式が柔らかくなり、崩壊が加速されることが確認できた。この成果については、現在、更なる解析を進めるとともに、論文投稿に向けて準備中である。