

Pop III 大質量星の重力崩壊と Relic Neutrino

中里健一郎(早大理工)、住吉光介(沼津高専)、山田章一(早大理工)

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) の星に関する研究は、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も重要である。これらの星に関する研究は、最近、WMAP や金属欠乏星の観測により、さまざまなことがわかり始めている。一方、理論的には、Pop III には太陽質量の数 100~1000 倍程度の星が多くあった可能性が指摘され、これらの星は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し、最後は重力崩壊を起こして Pair Instability Supernova になるかブラックホールになる、とされている。さらにこれらの天体とガンマ線バーストや中間質量ブラックホールとの関連を指摘する研究もあって、現在も精力的に研究が進められている分野のひとつである。こういった重力崩壊の dynamical な計算はこれまでにもなされていたが [1]、系統的で精密に計算した研究はなかった。今回の研究では、その中でも、最終的にブラックホールを形成すると考えられている質量領域の球対称なモデルにおいて、一般相対論とニュートリノ輸送 (Boltzmann 方程式) を厳密に扱って重力崩壊の計算を行った。この計算ではエントロピーで系統的に特徴付けられた 18 個の初期モデルを用意し、それらは 親星の質量で $300 \sim 13500 M_{\odot}$ に対応する [2]。その上でニュートリノが dynamics に与える影響やニュートリノ放出の質量依存性を解析した [3]。

その結果、このような星の重力崩壊においては、ニュートリノによる冷却が強く効いて、中心部に形成される亜音速で崩壊する高密度な領域(内部コア)が小さくなり、最初に形成されるブラックホールの大きさ (Apparent Horizon の位置) も小さくなることがわかった。またこれらの星では、内部コアの外側の超音速で崩壊する低密度な領域(外部コア)が幾何的に厚くなり、エネルギーの比較的高いニュートリノの Neutrino Sphere は外部コアに位置し、結果として放出されるニュートリノの平均エネルギーは数 MeV 程度と低くなることが分かった。次に、質量依存性についてであるが、親星の質量が大きくなるほどニュートリノによる冷却の効果が強くなり、形成される内部コアやブラックホールの大きさは、親星の質量が数 10 倍になってしまっても数倍程度しか変化しないことがわかった。また、親星の質量が大きくなるほど、放出されるニュートリノの全エネルギーも大きくなるが、ニュートリノの平均エネルギーは親星の質量にあまり依存しないこともわかった。これは、親星の質量が大きくてもニュートリノ冷却により内部コアは、質量の小さなモデルと比べてそれほど変わらず、また、親星の質量が大きなモデルでは、ニュートリノ源となる中心の内部コアの外側に外部コアが幾何的に厚く広がるため、高エネルギーのニュートリノが出

てきにくい環境になっているからと考えられる。

さらに、この重力崩壊から放出されるニュートリノのスペクトルを、想定される Initial Mass Function (IMF) と星形成史に従って足しあげ、それらが現在の地上でバックグラウンド (Relic Neutrino) としてどのように観測されるかを見積もった。計算は Λ CDM 宇宙論モデルに基づき、宇宙全体のバリオンのうち 10% が Pop III star を形成すると仮定した。Initial mass function (IMF) は

$$\frac{dn}{dm} m^{-\beta-1} \quad (m < 100 M_{\odot}, 1 < \beta < 3) \quad (1)$$

とし、星形成史については、(A) WMAP による宇宙の再イオン化の観測、(B) 星形成の理論計算 [4]、(C) GRB から見積もられた星形成率 [5]、の 3 つを仮定した。その結果、現在稼動しているニュートリノ検出器では、Relic Neutrino の測定は不可能であることがわかったが、 ν_e については、Pop III が宇宙起源で最大の源となり、方向分布まで考えれば原理的に測定可能であると言える。また Relic Neutrino Flux のピークエネルギーは主に星形成のタイミングによって決まり、IMF にはあまり依存しないことが分かった(図 1)。これより、ニュートリノから Pop III の星形成史にある程度の制限が与えられる可能性もある。

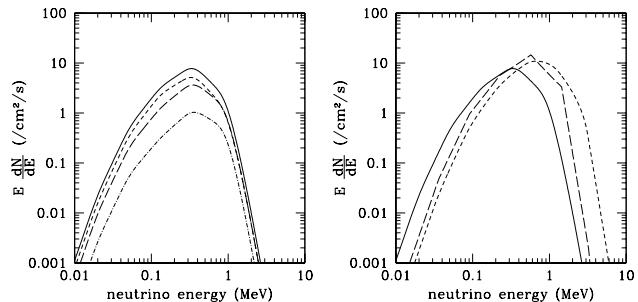


図 1: Pop III 大質量星起源の $\bar{\nu}_e$ Relic Neutrino のスペクトル。左図は星形成史が (A) の場合の結果で、短い破線、実線、長い破線、一点破線はそれぞれ $\beta = 1.1, 1.35, 2, 3$ の場合に対応し、右図は $\beta = 1.35$ の場合の結果で、実線、長い破線、短い破線はそれぞれ星形成史が (A), (B), (C) の場合に対応する。

References

- [1] C.L. Fryer, S.E. Woosley, & A. Heger, *Astrophys. J.* (2001), 550, 372.
 - [2] J.R. Bond, W.D. Arnett, & B.J. Carr, *Astrophys. J.* (1984), 280, 825.
 - [3] K. Nakazato, K. Sumiyoshi, & S. Yamada, *Astrophys. J.* (2005), submitted. (astro-ph/0509868)
 - [4] E. Scannapieco, R. Schneider, & A. Ferrara, *Astrophys. J.* (2002), 589, 35.
 - [5] T. Murakami, et al. *Astrophys. J.* (2005), 625, L13.
- (2005 年度第 18 回理論懇シンポジウム : ポスター 9)