

令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：神岡地下ニュートリノ検出器による超新星ニュートリノ観測データの解析手法の開発 英文：Development of new analysis techniques for supernova neutrino observation by Kamioka underground neutrino detectors	
研究代表者	原田了
参加研究者	住吉光介、森正光、中里健一郎、諏訪雄大、財前真理、原田将之、小汐由介、中西史美、Roger Wendell、芦田洋輔、赤穂龍一郎
研究成果概要 2025年度の成果は、これまでの継続課題の成果を最新の観測結果に即座に適応し、解析手法を開発する有用性・重要性を示したことである[1]。近年、アンドロメダ銀河にある大質量星が突然消失するという観測結果が報告された。これは星の重力崩壊に伴うブラックホール形成現象の可能性がある。その場合、短時間で急激に止まる、強いニュートリノ放射が起こると理論的に予想されるが、消失した頃のSKの観測データにはニュートリノ信号は見つからなかった。このニュートリノ不検出の事実は、重力崩壊の物理や中心天体の性質を制限する上で重要な情報を含んでいる。しかし、その解釈には、どのような条件下でニュートリノが検出されうるのかを定量的に評価するための重力崩壊理論モデルおよび検出器モデルが不可欠である。本継続課題では、天体からのニュートリノ信号が、SKのような水チェレンコフ検出器によってどのような条件下で検出可能となるかを評価する解析手法および検出器モデルを構築してきた。2025年度はこれらの知見を活かし、報告された観測事象に即応して、重力崩壊シナリオの理論的検討を行った。具体的には、これまで様々なグループによって行われたブラックホール形成シミュレーションの報告をサーベイし、それらのニュートリノ信号がSKでどのように検出されるかを、2020年度に考案した検出器モデルに基づいて調査した。その結果、ニュートリノ不検出の事実と整合的な重力崩壊モデルが、用いる状態方程式によって大きく制限されることが明らかになった。特に、核物質の硬さなどの高密度領域での性質の違いが、ニュートリノ放射の強度や継続時間に顕著な影響を与え、検出可能性を左右すること、特に今回の不検出は「柔らかい」状態方程式を示唆することが示された。さらに、検出器モデルを応用してHKが稼働していた場合はニュートリノが実際に検出されていた可能性を示し、HKの天文学的重要性を指摘した。本研究は、これまで本継続課題で整備してきた超新星ニュートリノ検出モデルがあったからこそ、突発的な観測結果に対して迅速かつ定量的な検討を行うことが可能となった点に大きな意義がある。 加えて、2024 年度の成果を論文にまとめたものも本年度に出版され[2, 3]、本継続課題は安定して成果を創出しつづけている。	
[1] Suwa, Y., Akaho, R., Ashida, Y., Harada, A., Harada, M., Koshio, Y., Mori, M., Nakanishi, F., Nakazato, K., Sumiyoshi, K., Wendell, R. A., Zaizen, M., “Neutrino Constraints on Black Hole Formation in M31”, The Open Journal of Astrophysics, Volume 8 (2025) [2] Nakanishi, F., Nakazato, K., Harada, M., Koshio, Y., Akaho, R., Ashida, Y.,	

Harada, A., Mori, M., Sumiyoshi, K., Suwa, Y., Wendell, R. A., Zaizen, M., “Observing Supernova Neutrino Light Curves with Super-Kamiokande. VI. A Practical Data Analysis Technique Considering Realistic Experimental Backgrounds”, The Astrophysical Journal, 992, 27 (2025)

[3] Suwa, Y., Harada, A., Mori, M., Nakazato, K., Akaho, R., Harada, M., Koshio, Y., Nakanishi, F., Sumiyoshi, K., Wendell, R. A., “Observing Supernova Neutrino Light Curves with Super-Kamiokande. V. Distance Estimation with Neutrinos”, The Astrophysical Journal, 980, 117 (2025)

整理番号 2025d-I-06