

令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：スーパーカミオカンデ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 Super Kamiokande

研究代表者 原田 了
参加研究者 住吉 光介、中里 健一郎、諏訪 雄大、森 正光、小汐 由介、原田 将之、中西 史美、Roger Wendell

研究成果概要

本共同利用研究ではこれまで、超新星ニュートリノ信号の解析的モデルを提案し、それに基づいた解析コードの開発を進めてきた。2023年度では、高性能な超新星ニュートリノの解析パイプラインSupernova Parameter Estimation Code based on Insight on Analytic Late-time Burst Light curve at Earth Neutrino Detector (SPECIAL BLEND)を開発し、スーパーカミオカンデメンバーを含む研究者コミュニティの誰もが使えるように公開した。我々は2022年度までに、Poisson過程である超新星ニュートリノ検出過程をGauss過程に近似したモデルに基づき、イベント検出レートと平均エネルギーを用いた解析コードを開発していた。しかし、イベント数の多い近傍超新星にしか使えないGauss近似を用いている点、エネルギーの情報を一つの統計量に集約したため解析の精度に制限がある点、そして非公開コードのため本課題メンバーしか利用できない点に改善の余地があった。SPECIAL BLENDは厳密なPoisson過程に基づき、またベイズ解析の手法をより忠実に適用した解析コードであり、githubで公開している(https://github.com/akira-harada/SPECIAL_BLEND)。これはイベントエネルギーごとの検出レートを直接解析することで、より遠方でイベント数の少ない超新星まで精度よく解析できる。実際、2022年度のコードに比べてSPECIAL BLENDはより小さい系統誤差で超新星のモデルパラメータを推定できた。また、スーパーカミオカンデの観測データをSPECIAL BLENDで解析した場合、20 kpc程度の距離までであれば10%程度の精度でパラメータ推定ができることがわかった。さらに、公開コードにしたことで研究者コミュニティの注目を広く集めており、SuperNova Early Warning System (SNEWS)という国際的な超新星ニュートリノ観測コラボレーションのセミナー講演を依頼されるなど、国際的なプレゼンスも高めている。

さらに、SPECIAL BLENDを応用して、過去の超新星SN1987Aのニュートリノ信号を解析し、そこに残されたコンパクト天体の性質も推定した。大マゼラン雲で爆発した超新星SN1987Aは、比較的遠方であることと当時の検出器のサイズの問題で、検出されたニュートリノイベント数は多くはない。しかし、上述の通りSPECIAL BLENDはそのような少数イベント解析も可能としている。ただし、SPECIAL BLENDはスーパーカミオカンデの検出器応答を仮定して設計しており、1987年当時の検出器応答は公開中のSPECIAL BLENDには組み込まれていない。そこで、SPECIAL BLENDの検出器応答を当時のものに換装した上でSN1987Aニュートリノを解析したところ、SN1987Aの中心に残されている中性子星の質量と半径がそれぞれ $0.89^{+0.60}_{-0.38} M_{\odot}$ および $14.1^{+6.3}_{-4.6}$ kmであると推定された。これらの結果は研究会などで preliminaryな結果として報告しており、SPECIAL BLENDの性能や当時の検出器応

答の実装法等を注意深く確認しつつ、論文を執筆中である。

整理番号 I03