

令和 4 年度 (2022) 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	<p>2022 年度の成果は、超新星ニュートリノ即時解析パイプラインの開発である。超新星ニュートリノ観測データを解析し、そこから超新星の物理的情報を引き出すためには、理論モデルとの比較が必要である。一方で、そのような理論モデルとして現状主に考えられている超新星の数値シミュレーションには大きな計算コストが必要であり、理論モデルのパラメータ領域は離散的にしかカバーできない。そこで、我々は 2020 年度の成果として超新星ニュートリノ光度曲線の解析的モデルを開発した。このモデルは近似的ながらもパラメータ領域を連続的にカバーすることができ、また取り扱いも容易である。</p> <p>2022 年度においては、この解析的モデルを用いて、超新星ニュートリノ観測データから超新星中心の中性子星質量、半径、そして放射されたニュートリノの全エネルギーを求める解析パイプラインを開発した。解析的モデルはこれらをパラメータとし、検出器における超新星ニュートリノのイベントレートと逆ベータ反応で生じる陽電子の平均エネルギーの時間進化を与えるものである。開発した解析パイプラインは、いわゆるカイ二乗フィッティングによって解析的モデルのパラメータを超新星ニュートリノの観測データから推定する。カイ二乗の計算には分散の見積もりが必要だが、特に平均エネルギーの分散を 2021 年度の成果であるモンテカルロ法に基づいた不確かさの推定法を応用して評価している。時間進化の解析のために検出イベントを複数の時間ビンに分けるが、この分け方は 2021 年度の成果である、時間分解能と平均エネルギー分解能を両立させるビン分け法を基礎に置いた手法で定める。</p> <p>開発したパイプラインの性能テストとして、解析的モデルに基づくニュートリノ信号の模擬観測データを多数生成し、それらの解析結果が本来のパラメータを再現できるかどうかを調べた。ここではパイプラインの平均的な性能を見るために、各模擬観測データに基づくパラメータ推定の結果を、多数の模擬データについて平均したものを考えた。その結果、超新星爆発が銀河中心で起こった場合、ニュートリノ信号から質量は約 0.1 太陽質量 (約 10%)、半径は約 1 km (約 10%)、そしてエネルギーは約 10^{51} erg (約 1%) 程度の不確かさで決められることがわかった。また、カイ二乗の計算の時にイベントレ</p>

ートだけを用いると、質量と半径の不確かさは数倍に大きくなる一方でニュートリノの全エネルギーの不確かさには大きな影響がないことを発見し、陽電子平均エネルギーがパラメータ推定において果たす役割を示唆した。

ここで開発した解析パイプラインは、将来超新星ニュートリノが実際に観測された際には、素早く解析を行うことでその後の詳細解析のパラメータ範囲を絞るという役割を想定している。パイプラインによるデータ解析にかかる時間は数秒程度であり、この短時間で約 10%程度の統計誤差でパラメータ推定ができる。この結果をもとに、絞られたパラメータ範囲でより詳細な物理過程を盛り込んだ超新星シミュレーションを行って観測データと比較するという手順でデータ解析を行うことで、計算コストのかかる解析をより効率的に行うことができる。