

論文審査の結果の要旨

氏名 飯田 崇史

本論文は、スーパーカミオカンデ (SK) 実験における超新星背景ニュートリノ (ν) 探索の結果を述べたものである。超新星背景 ν (SNR: Supernova Relic Neutrino) は、超新星爆発によって放出された ν が宇宙空間に累積したものであり、その流量やスペクトルから、宇宙開闢以来の星の形成・死滅や、重元素生成に関わる情報を得ることができる。SK 実験では、超新星爆発から生じる反電子型 ν の逆ベータ反応によって生じる陽電子を捕えて SNR を検出する。SNR 流量の期待値は理論計算の仮定によって異なるが、17.3MeV 以上の ν を捕えた場合は、0.4-4.6 /cm²/sec と計算されている。これは 50kton の純水を用いる SK 実験において観測が可能になる程度の流量である。

本論文では、SK 実験開始から 1496 日 (SK-I)、光センサー破損事故から部分再建を行って回復した後の 791 日 (SK-II)、完全再建後の 548 日 (SK-III) の 3 期間のデータを合計して SNR の探索を行っている。

論文は全 11 章からなる。第 1 章では、超新星爆発の理論と SNR 観測の現状を概観する。第 2 章では、実験装置を紹介し、SK における ν 事象検出の方法を述べる。論文提出者は SK の完全再建に参加し、SK-III の光センサー 1 万本の精密な感度較正を担当した。第 3 章では、この感度較正の方法が詳しく述べられている。第 4 章では、純水タンク中で発するチェレンコフ光の環状ヒットパターンから、 ν 事象の発生位置や方向・エネルギーを再構成する基本的な方法、また μ 粒子と電子の弁別方法などについて述べている。

本論文による SNR の探索は、水タンク内で観測されたエネルギーが 16-80MeV の事象に限定して行っている。低エネルギー側の探索感度は、遥かに高い流量を持つ太陽 ν 、また宇宙線 μ 粒子の核破砕から生じる γ 線や電子の雑音によって制限される。より高いエネルギー領域では、大気 ν の一部が重要な雑音となる。探索領域で特に問題となるのは、 μ 型大気 ν の反応から生じた μ 粒子がチェレンコフ発光閾値以下のエネルギーである場合で、停止した μ 粒子の崩壊から生じた電子・陽電子は SNR からの陽電子と区別がつかない。これはスペクトル形状の違いによって、弁別する。

第 5 章では、論文提出者自身が SNR 検出の為に考案した SNR 候補事象の選択条件 (カット) について詳しく述べられている。通常のカットに加えて、上記の雑音事象を効果的に排除するカットを適用することによって、SNR 探索エネルギー限界を従来の 18MeV から 16MeV まで引き下げ、探索の感度を上げることに成功した。また μ 型大気 ν の雑音スペクトルについては、水タンク内で停止した宇宙線 μ 粒子の崩壊から生じた電子の実データスペクトルを使用することとした (第 6-7 章)。

第 6 章は、モンテカルロ (MC) 模擬事象の生成方法について、第 7 章は、主要な雑音事象のスペクトル形状について、第 8 章は、観測における系統誤差について記述している。第 9 章では、得られたスペクトルを SNR 信号から期待されるスペクトル、及び大気 ν 雑音のスペクトルでフィットし、SNR の流量限界を求めた。SNR の逆ベータ反応断面積には最新の計算結果を用いた。少数統計の為に、フィットの誤差評価にはポアソン統計を用い、スペクトル形状やエネルギー決定の系統的な誤差、事象の検出効率の

誤差も考慮している。なお、大気 ν スペクトルのうち、SNR と重ならない電子型大気 ν のスペクトルについては MC 計算を用いている。第 10-11 章において、得られた SNR 流量の上限値を各種のモデルと比較して議論を行った。

本論文は、これまでに SK で得られた全てのデータを用いて SNR 探索を行い、同時に新たなカットの考案によって観測可能なエネルギー領域を広げて、探索感度を向上させている。合わせて、統計誤差・系統誤差に注意深く検討を加えており、本論文の結果は、SK を用いた SNR 探索の最終結果として、SK-I を用いた PRL 誌公刊の旧結果 (2003 年) を置き換えるものである。得られた流量の 90% CL 上限値 $2.0\text{--}2.2 / \text{cm}^2/\text{sec}$ (ν エネルギー 17.3MeV 以上) は、他の実験によってこれまでに得られた結果より一桁小さい。また、SNR モデルのうち最も高い流量を与えるものについては、これを棄却できることを示した。本論文の内容は Physical Review D 誌に投稿される予定である。

以上、本論文の学術的意義は明らかであり、論文提出者の貢献も顕著である。従って飯田崇史君に博士 (理学) の学位を授与できると、審査委員会の全員一致で認めた。