

## 平成 21 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：超新星背景ニュートリノの研究

英文：Study of Supernova Relic Neutrinos

研究代表者 岡山大学 准教授 石野宏和

参加研究者 岡山大学・教授・作田誠、岡山大学・研究員・樹林敦子、岡山大学・学生・豊田英嗣、岡山大学・学生・三野将悟、岡山大学・学生・森俊彰、宇宙線研・教授・中畑雅行、宇宙線研・大学院生・飯田崇史、大阪大学・教授・久野良孝、大阪大学・特任研究員・吉田誠、宮城教育大学・准教授・福田善之、東京大学数物連携宇宙研究機構・特任教授・Mark Vagins、東京大学数物連携宇宙研究機構・研究員・Jan Schuemann、Univ. Autonoma Madrid・Luis Labarga、Tsinghua Univ.・S. Chen、Tsinghua Univ.・H. Zhang、Tsinghua Univ.・Z. Deng、Tsinghua Univ.・Y. Liu

### 研究成果概要

超新星背景ニュートリノ(Supernova Relic Neutrinos, SRN)は、宇宙で最初の星ができて以来起きてきた超新星爆発から生じるニュートリノのことである。スーパーカミオカンデ(SK)は、世界で最大の検出器を持ち、SRN に対して最高感度を持つ。SK-I から SK-III のデータに基づいて、SRN の探索が飯田(東大宇宙線研)を中心にして行われ、解析におけるエネルギー閾値を 16MeV まで下げることに成功した。SRN フラックスの上限値として、 $2.0/\text{cm}^2/\text{sec}$  を得た。この結果は、飯田の博士論文としてまとめられている。

SRN を検出するためには、反電子ニュートリノが陽子と衝突することによって生じる陽電子と中性子を検出するのが最適である。現在の SK では先発陽電子のみ検出することができる。中性子が純水中の陽子にトラップされて生じる 2.2MeV ガンマ線を検出すれば、遅延同時計測により S/N 比を改善することができると期待されている。また、この測定によって、SK 内でどの程度の頻度で中性子が生じているのかを見積もることができる。S. Chen をはじめとする Tsinghua 大学の研究者がこの研究に取り組んでいる。

SRN の検出感度をさらに増強するために、将来 Gd を SK に導入する計画がある。Gd は中性子を吸収すると、計 8MeV のガンマ線 3,4 個を放出する。そのため、中性子検出効率を著しく改善することができる。Gd を SK に導入するためには、Gd 化合物を純水中で一様に混合する技術の確立、Gd 以外の不純物を取り除く特殊純化装置の開発、Gd 化合物起源のバックグラウンドの研究、Gd 水溶液が検出器に及ぼす影響、中性子検出効率と環境中性子バックグラウンドの評価、といったことを事前に行わなければならない。これらの開発研究をおこなう施設(Evaluating Gadolinium's Action on Detector System, EGADS)のための予算がつき、建設が始まった。EGADS は、直径・高さともに約 6m で、内部に 240 本の 20 インチ PMT と約 200 トンの純水(または Gd 水溶液)を含む水

チェレンコフ検出器とともに、水の透過率を測定する装置、Gd を選択的に残す特殊純化装置からなる複合施設である。EGADS が置かれる場所の掘削が 2009 年 9 月頃から始まり、12 月には終了した。その後、内装と電源工事等が行われ、2010 年 3 月には、EGADS 構築の準備が終了した。2010 年 4 月中旬から EGADS 水タンクの建設が始まる予定である。EGADS 全体の構築は中畑（東大宇宙線研）が進めている。水タンクの設計は石野・樹林（岡山大）、純化装置・透過率測定装置の開発は、Mark Vagins、Jan Schuemann（東京大学数物連携宇宙研究機構）が進めている。硫酸ガドリニウムそのものに含まれているウラン・トリウム系の不純物は、大きなバックグラウンドになる可能性がある。Univ. Autonoma Madrid の Luis Labarga がこのバックグラウンド測定と、それを取り除く方法の開発を行っている。

一方で、Gd 水溶液が SK 部材に及ぼす影響を調べる研究が並行に行われた。500ml のポリエチレン容器に 0.2%硫酸ガドリニウム水溶液を入れ、それとともに SK の 31 種類の部材（ステンレス、ガラス、プラスチック等）に対する腐食効果を調べた。0.2%硫酸ガドリニウム水溶液は、pH が約 3 で酸性である。調べた結果、PMT サポートゴムのみその溶出が見つかり、水溶液が濁ることが分かった。分光光度計により水の透過率を測定した結果、ゴムの表面積と水溶液の体積を考えると、SK には影響がほとんどないことが分かった。また、実験は 20 度前後の室温で行っていたが、SK が稼働している 13~15 度の温度では、さらに影響は小さい事が分かった。最近になり、硫酸ガドリニウム水溶液に、酸化ガドリニウムを溶かすと、酸性が中和することが分かった。今後は、酸性がゴムに及ぼす影響を調べていく予定である。この成果は、2010 年 3 月の日本物理学会において豊田（岡山大）が発表した。

EGADS 水チェレンコフ装置の性能評価を Geant4 モンテカルロシミュレーションを用いて樹林と三野（岡山大）が行っている。中性子捕獲の検出効率の評価や、Am/Be+BGO を用いた中性子較正源の開発を行っている。この成果は、Geant4 ワークショップや、日本物理学会で報告された。

大気ニュートリノが純水中で起こす原子核（主に酸素）との反応において、原子核が励起されると同時に中性子が放出される場合がある。励起された原子核が放出するガンマ線が検出され、解析エネルギー範囲内（将来は 10MeV まで下げる予定）に入ると、これは SRN 探索のバックグラウンドになる。このような事象は、これまでシミュレーションに依存していたために、精度良いバックグラウンド見積もりがなされていなかった。作田と森（岡山大学）は、これまで取得された電子（または陽子）・原子核反応実験結果に基づき、このようなバックグラウンドの事象頻度の見積もりを行っている。

整理番号