

平成23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 岡山大学自然科学研究科(理)・教授 作田 誠

参加研究者：東大宇宙線研・中畑雅行(教授)、岸本康宏(准教授)、小汐由介(助教)、竹田敦(助教)、関谷洋之(助教)、Lluís Martí(研究員)、横澤孝章(D3)、中野祐樹(M2)；岡山大学・作田 誠(教授)、石野宏和(准教授)、樹林敦子(研究員)、矢野孝臣(研究員)、森俊彰(D2)、山口竜太(M2)；

大阪大学・久野良孝(教授)；宮城教育大学・福田善之(教授)；

神戸大学・竹内康雄(教授)、鈴木州(助教)；東京大学数物連携宇宙研究機構・Mark Vagins(教授)；Univ. Autònoma Madrid・Luis Labarga(教授)；

Univ. California, Irvine, Michael Smy(研究員), Andrew Renshaw(研究員), Giada Carminati(研究員)；清華大学・S. Chen(教授), H. Zhang(研究員)

研究成果概要

[目的]：太陽の8倍以上の質量を持つ恒星はその一生の最後に超新星爆発を起こす。1987年2月に人類史上初めてそのニュートリノが検出された。宇宙に最初の星ができて以来、超新星爆発は約1秒に1回の頻度で絶えず起きており、そのつどニュートリノや重元素物質が宇宙にばらまかれている。従って、現在の宇宙には過去に起こった超新星爆発からの超新星背景ニュートリノ (Supernova Relic Neutrinos, SRN) が地球上で数10個/cm²/secで飛来していると予測されている。一方、ニュートリノは超新星の芯から外に直接出ることができる唯一の素粒子であるので、超新星爆発のメカニズムや中性子星・ブラックホール形成過程を「見る」唯一の手段であると期待されている。我々は何時銀河系で起きるかも知れない超新星爆発に準備すると共に、世界一の感度を持つSK実験でSRNを検出することを目指す。

[方法・意義]：我々は超新星背景ニュートリノの探索を検出器中で断面積の一番大きい反ニュートリノ陽子反応 ($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$) を用いて2つの方法で研究している。(1) 従来のスーパーカミオカンデSK実験で行う、と同時に、(2) 200トンタンクの硫酸ガドリニウム入り水チェレンコフ装置を使った反電子・中性子同時計測実証実験を行う。それが実証されれば、将来のSK実験においてSRN発見が可能のみならず、大型ニュートリノ実験に大きな変革をもたらす。

[成果]

(1) 従来のSK解析 (SK-I-III)

まず、SK-I-IIIの全データを用いた18MeV以上のSRN流量に関する論文出版した。その際、高エネルギー宇宙線ミュオンが酸素原子核を破壊して生じるスパレーション事象のバックグラウンドの再評価をおこない、また、チェレンコフ光の作るヒットと反応点の角度相関を調べることで、一個の陽電子によるSRN信号か、中性カレントニュートリノ酸素核反応起源のγ線によるバックグラウンドかの区別をより厳しくした。また、中性カレントニュートリノ酸素核反応の断面積やそれからのγ線、パイ吸収によるγ線バックグラウンドの再評価をNEUTにプログラムを組み込んで行った。論文(1)、図1、論文(2)。

(2) SK-IVデータ解析：読み出し電子回路が改造されたために、事象後に中性子を検出することができるゲート時間幅を500μ秒程まで増やすことができた(Relicトリガー)。Am/Be中性子線源を使って陽子捕獲による2.2MeVγ線を要求することで、中性子検出効率が19.3%±0.24%に対して、E>16MeVでの反電子—中性子の同時計測により、バックグラウンド混入率を1.006±0.024%に減らすことができた。図2にE>16MeVでの低エネルギー事象中の中性子捕獲による2.2MeVγ線の分布を示す。また、隣は、電子と2.2MeVγ線の距離相関を示す。Monte Carloとの一致も定性的に理解できた。

昨年8月12日より、Relic トリガーの閾値が10MeVから8MeVに下げられ、スパレーションバックグラウンドの主であるLi-9の同定が可能になり、また、原子炉ニュートリノの検出の可能性も出てきた。大気ニュートリノ事象でも中性子タグができた。この2.2MeV γ 線による中性子タグは検出効率は低いもののSKの物理解析に質的な改良をもたらす。

(3) 200トンのGd入り水チェレンコフ装置 (EGADS) による実証実験

2009年より200トンタンクを使ったGd水チェレンコフ装置のタンクが完成し (図3)、AB-Eで水だけの循環運転が去年度6か月間安定に終了した。去年度8月からGd混合、選択除去、循環等のテストが15トンタンクを用いて行われている。使用予定の250本のPMTの事前のチェックが行われ、全てのPMTの増幅率、相対量子効率、現在のSKのものと比較して同等の良い性能であることが確認された。PMT組立準備もできている。現在は、Gd添加の場合の安定な循環運転条件の確立と透過度の達成が当面の課題である。

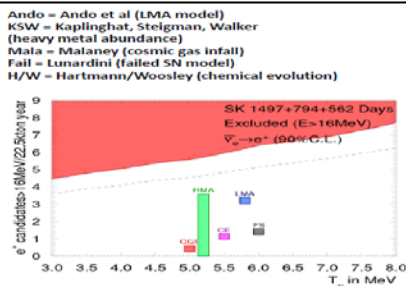


図1: SK-I-III データによる SRN 流量への制限 (橙色) と種々なモデル計算。横軸はニュートリノ平衡温度。1 ケタ以内に迫っている。参考論文(1)

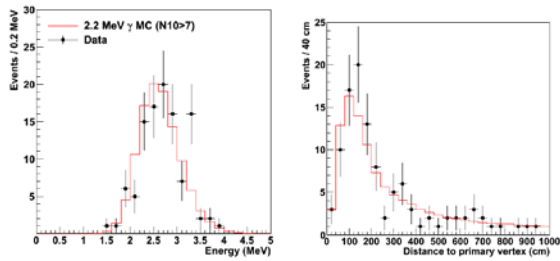


図2: SK-IV での新回路を使った 2.2MeV γ 線による中性子検出の進展。左は、同定された 2.2MeV の遅延信号 (エネルギー)。右は、先行信号 (反電子) と遅延信号との位置相関を示す。Monte Carlo 計算とも良く合っている。H. Zhang, ICRC2011 より。



図3: EGADS 装置。中央: 200 トンタンク。左手前: G d 前処理システム。右: 透過率モニター (UDEAL)。

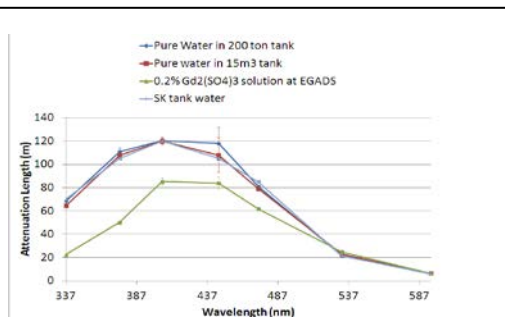


図4: 15 トンタンクを用いた Gd 添加の水循環装置初期運転での光の透過度 (=減衰長 m, 下の緑線)。純水だけの運転の場合の透過度 (上側の線) と比較

発表論文:

- (1) K.Bays et al.(Super-K Collab), Supernova Relic Neutrino Search at Super-Kamiokande, *Phys. Rev.* **D85**,052007-1-15(2012).
- (2) A.Ankowski,O.Benhar,T.Mori,R.Yamaguchi and M.Sakuda, Analysis of gamma-ray production in NC neutrino-oxygen interactions above 200 MeV,*Phys. Rev. Lett.***108**, 052505-1-4 (2012).
- (3) H. Watanabe et al. (Super-K Collab.), First Study of Neutron Tagging with a Water Cherenkov Detector., *Astroparticle Physics* **31**, 320-328,(2009).

国際会議発表 (H23年度) 12名、(H22年度) 3名、国内学会発表 多数

ICRC2011, August 11-18 2011, Beijing China.:K.Bays and M.Smy, DSN search at Super-Kamiokande; H.Zhang, Neutron Tagging and its physics applications at Super-Kamiokande IV; 他。

整理番号