

論文の内容の要旨

Search for Neutrinos associated with Gamma-ray Bursts in Super-Kamiokande
(スーパーカミオカンデにおけるガンマ線バーストに伴うニュートリノ探索)

氏名 織井 安里

ガンマ線バースト(GRB)に伴うニュートリノを水チェレンコフ検出器であるスーパーカミオカンデ(SK)で探索した。GRBは最も明るい天体现象のひとつである。衛星や望遠鏡の進歩により、GRBの様々な特徴が観測されてきたが、発生メカニズムの決定的なモデルは存在しない。ニュートリノによる観測はメカニズムの研究に寄与すると考えられる。

GRBと関連したニュートリノは今まで発見されていない。SKで以前行った統計的な研究では1454GRBについて調査した。本研究では2008年12月から2017年3月までの2208GRBを対象とした。GRBの検出時間の前後500秒以内に250イベントが検出された。バックグラウンドの期待値は251イベントである。SKイベント数とGRBの時間差、SKイベントのエネルギー分布を全GRBについて足し合わせたものにバックグラウンドを上回る部分はなかった。

個々のGRBについて、±500秒の探索ウィンドウ内に検出されたイベントはGRB140616Aの3つが最大であった。3つのSKイベントは宇宙線ミューオン由来のイベントの可能性が高い。これはイベントのエネルギー、パーテックスとミューオン軌道の位置関係、ミューオンとの時間差により確認された。

衛星や望遠鏡で観測されたGRBのスタート/ストップ時間(t_1/t_2)内のイベント数(N_{ev})に

についても解析した。ある GRB の t_1/t_2 内に SK イベントを N_{ev} 以上観測される確率を計算した。この確率の分布を toy Monte-Carlo(MC)シミュレーションで評価した。シミュレーションは各 GRB について SK イベントをタイミングをランダムに割り当て、確率の分布を計算するものである。シミュレーションにより、バックグラウンドに反しないことが分かった。

明らかな GRB 由来のニュートリノが観測されなかったため、ニュートリノフルエンスの上限を計算した。平坦なエネルギースペクトルを仮定すると 8MeV 以上のニュートリノのフルエンスは $1.03 \times 10^{-8} \text{cm}^{-2}$ になった。フルエンスをエネルギーの関数とした場合の上限も計算した。一定のエネルギーの MC イベントを生成し、観測データと同じ条件で選別した。選別で残ったイベントのエネルギー分布から $\pm 3\sigma$ をそのエネルギーの範囲とし、そのエネルギー領域に含まれるイベントを信号またはバックグラウンドとしてカウントした。このようにして 12MeV で $3.4 \times 10^{-9} \text{cm}^{-2}$ 等と求められた。

SK では純水にガドリニウムを加える SK-Gd 計画が進められている。ガドリニウムは高い効率で逆 β 崩壊からの中性子を吸収してガンマ線を放出する。主なバックグラウンドである宇宙線ミューオンによる核破碎で生成された原子の崩壊のほとんどとミューオンの電子への崩壊は中性子を出さないため、ガンマ線と陽電子の関連を探することでバックグラウンドであるを減らすことができる。SK-Gd で本研究のライブタイムと同じだけ観測した場合のフルエンス上限はエネルギーにより 1/2 から 1/6 になると期待される。