

令和 6 年度（2024） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：ジルコニウム 96 を用いた 2 つのニュートリノを放出する二重ベータ崩壊事象の観測 英文：Observation of two neutrino emission double beta decay using Zirconium-96 nuclei	
研究代表者	宮城教育大学・教授・福田 善之
参加研究者	東京大学 宇宙線研究所・教授・森山 茂栄
研究成果概要 T2Kの観測結果から、ニュートリノ質量階層は正常階層を支持する傾向にあり、ニュートリノの有効質量が限りなく小さくなる可能性もあるが、ニュートリノ質量階層が逆階層領域の下限值である0.01eVまで感度を持つためには、ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊(0νββ)の半減期の逆数が核行列要素の理論値とニュートリノ有効質量の積の2乗に比例するため、10²⁷年以上の半減期を観測しなければいけない。応募者は、逆階層解が预言するニュートリノ質量の最下点である0.01eVまで探索するため、0νββのQ値が3.35 MeVと標的原子核の中では3番目に高い⁹⁶Zr 900kgを液体シンチレータに溶解させるZICOS実験を計画している 本研究は0νββの観測を目指すZICOS実験の実証実験として、直径16cmの高純度石英ガラス製丸底フラスコ内に設置したETFEフィルム製の正方形バルーン内にZICOS用液体シンチレータ 1Lを注入し、低放射能2インチPMT H3378-50 20本をフラスコ表面に配置した2ν-ZICOS検出器を用いて、神岡地下観測施設に設置する鉛遮蔽体による低放射線環境下で検出するU/Th由来背景事象をチェレンコフ光の平均角により効率的に除去し、⁹⁶Zrの2つのニュートリノを放出する二重ベータ崩壊(2νββ)事象を観測することを目的としている。 これまでに高純度石英ガラスGE214を用いた直径16cmの特注丸底フラスコと浜松ホトニクス製の低放射性光電子増倍管H3378-50 20本を用いて、2ν-ZICOS検出器を製作した（図1参照）。GE214をICP質量分析を行った結果、²³²Thの含有量が15ng/g、²³⁸Uの含有量が19ng/gであり、²⁰⁸Tlの崩壊事象数は年間100万事象となることが予想される。一方、フラスコ内部にはETFEフィルム製の1辺が 9cmの正方形バルーンを格納し、バルーン外部には液体シンチレータの溶媒であるアニソールを充填するため、²⁰⁸Tlのベータ線のシンチレーション光は観測されないが、チェレンコフ光は観測されるので、平均角による除去が可能である。このバルーン内	



図 1 2ν-ZICOS 検出器

には約720mLのZICOS用液体シンチレータを充填し、その中には87gのZr(iPrac)₄が溶解し、約0.4gの⁹⁶Zrが存在していることになる。2v-ZICOS検出器による2vββ事象と²⁰⁸Tl背景事象のシミュレーションを実施したところ、ETFEバッグ内に事象構成点があり、平均角が60度以上の²⁰⁸Tl背景事象は大幅に減少し、2vββ事象の一部が観測可能となることが期待されている。

2024年度は、光電子増倍管(PMT)のゲイン調整、CsI検出器を用いた鉛遮蔽による放射線遮蔽の効果、調製したZICOS用液体シンチレータ(LS)中の放射性物質の分析、10cmの鉛遮蔽体に格納したときのZICOS用LSによる背景事象観測、CAEN社製V1742デジタイザーの波形データのバイナリ処理、そして2v-ZICOS検出器のエネルギー応答性や分解能、更に事象発生点の再構成分解能の測定を行っている。PMTのゲイン調整は、ZICOS用LSを用いて⁸⁸Yから放射される1.868MeV γ線のコンプトン端が±10%以内で揃うようにPMT印可電圧を調整した。また、ZICOS用LS内の放射性物質分析は、神岡坑内に設置されたゲルマニウム検出器を用い、PTFE容器に格納した350mLのLSの測定を行った。一方、厚さ10cmの鉛遮蔽体内に石英バイアルに格納した20mLのZICOS用LSをH3378-50で放射性物質による背景事象観測を6日間行った。この測定では、宇宙線ミューオンの通過をvetoするために、鉛遮蔽体の周囲にプラスチックシンチレータを設置しvetoした結果、宇宙線ミューオンの大部分が除去されたが、1MeV以上で676事象が残存した。この事象を理解するため、H3378-50からXMASS用の低放射性PMTであるR10789に交換して3日間測定を行った結果、1MeV以上で129事象が観測された。これから、H3378-50で観測した1MeV以上の事象の約60%がPMT内のU/Th/Kからのガンマ線事象であることがわかった。更に残存している事象について観測を継続している。一方、10cm厚の鉛では十分に環境のガンマ線が遮蔽できないため、2vββ事象の観測では15cm厚の鉛遮蔽体を用いることを計画している。最後に、2v-ZICOS検出器の性能評価については、図3のようにエネルギースペクトルを観測しており、宇宙線ミューオンや⁴⁰Kや²⁰⁸Tlからのガンマ線が観測されると共に、⁶⁰Coや⁸⁸Yからのガンマ線とともにエネルギーの線形性が確認した。

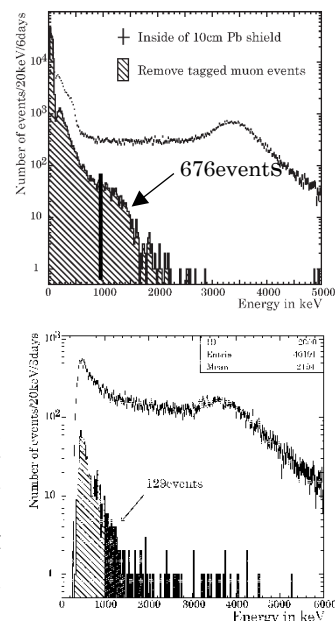


図 3 ZICOS 用 LS による背景事象観測

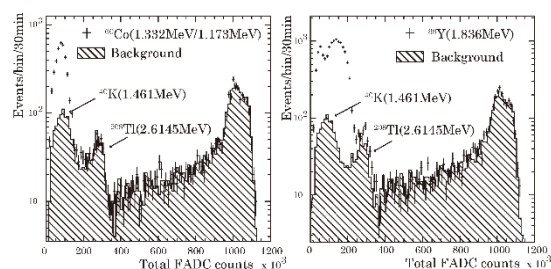


図 2 2v-ZICOS で観測した宇宙線 μ とガンマ線事象