

固体標的への超高強度レーザー照射による放射ガンマ線の計測技術の開発

放射線科学基盤機構 民井淳、大田晋輔、小林信之、

連携研究部門サブアトムック科学研究拠点（光核反応グループ）

大阪大学、岐阜大学、名古屋大学、量子科学技術研究開発機構、東京大学

超高強度レーザーを固体標的に照射することで生じるレーザープラズマからの放射ガンマ線を定量的に測定する技術を開発することを目的とする。将来的にレーザープラズマ内で生じる核反応を検出することにより、極端環境下の原子核反応機構を調べるあらたな手法を開発することをめざす。原子核乾板(エマルジョン)を用いることにより世界で初めてレーザープラズマから放出されるガンマ線を個別検出する実験を行った。

世界の超高強度レーザーの集光強度は年々向上を続けており、 10^{22} W/cm²の領域に達している。固体標的にレーザーエネルギーを集中することで瞬間的・局所的にレーザープラズマが生じ、 ~ 100 MeV の電子、陽子、イオンが放出されることが確認されている。レーザープラズマのエネルギーは核反応を生じるに足るエネルギーに達しており、高密度(固体程度)、レーザーによる超高電場(10^{14} V/m)・高磁場(10^5 T)での核反応の検出は、これまでの加速器による手法ではアクセスできなかった極端環境下での核反応研究へと新たな可能性を広げるものである。原子核乾板による放射線計測を専門とする名古屋大学中澤研究室、岐阜大学 F 研との共同により、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所の J-KAREN-P レーザー施設を用いた測定実験を行った。適切な放射線強度条件を調べるため、1層のエマルジョンを複数場所に配置し、レーザー照射後の現像・解析を行うことで放射線強度を見積もった。その後、30層のエマルジョンを標的真空槽外に2箇所に配置し、銀5 μ m厚の標的に 10^{21} W/cm²の集光強度のレーザーを1ショット照射したデータを取得し、現像、膨潤、スキャンの作業を行った。データの解析は進行中であるが、レーザー標的の方向から来ていると考えられるガンマ線イベントが複数見つかっている。エネルギー・フラックスの定量的分析と、標的真空槽内にエマルジョンを設置する本実験の計画を進める予定である。

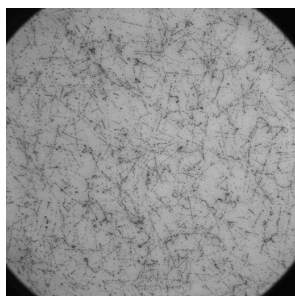


図 1：照射後のエマルジョンの顕微鏡画像。画像の視野は約 400 μ m。F 研の自動解析装置 HTS により深さ方向への断層画像から各直線トラックを解析し、エマルジョンの表面と裏面をつなぐ。さらに複数槽を組みあわせてイベントを同定する。

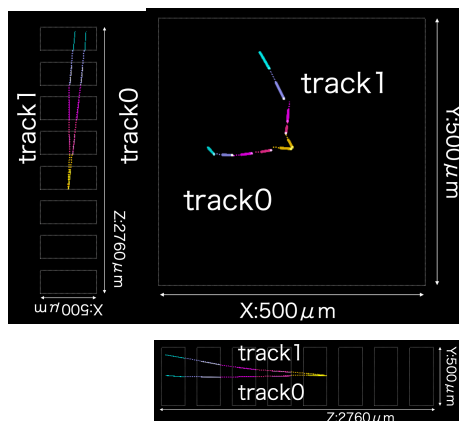


図 2：レーザー標的の方向からのガンマ線に起因すると考えられる電子・陽電子対生成イベントの三次元軌道解析(8層)。軌道の直線からのずれによりエネルギーを決定、それらを用いてガンマ線の方法とエネルギーを同定する。

CANDLES 検出器を用いた二重ベータ崩壊の研究

核物理研究センター 梅原さおり、他 CANDLES グループ

連携研究部門サブアトム科学科学研究拠点（二重ベータ崩壊測定 CANDLES グループ）

「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊（以下、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊）」は、基礎物理学において極めて重要な研究である。それは、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊の研究が、ニュートリノがマヨラナ性（粒子反粒子の転換可能性）を持つかという基本性質にせまり、またこれが物質の起源解明に関わるからである。我々が開発する CANDLES 検出器は、 ^{48}Ca 同位体を用いた二重ベータ崩壊測定装置である。

この $0\nu\beta\beta$ 崩壊は、半減期が 10^{26} 年以上と非常に極稀な事象であるため、ごく低バックグラウンド検出器を構築する必要がある。我々は、宇宙線起源バックグラウンドの少ない岐阜県神岡地下実験室において、300kg の CaF_2 結晶を用いたプロトタイプ CANDLESIII 検出器で二重ベータ崩壊測定を行った。131 日間のデータを解析した結果、Q 値領域でのバックグラウンドのない測定を実現し（図 1 参照）、 ^{48}Ca の $0\nu\beta\beta$ 崩壊の半減期として 5.6×10^{22} 年の下限値を得た。これは測定時間が 4 か月と短いにも関わらず、先行する ^{48}Ca の二重ベータ崩壊測定と同程度の結果であった。また、バックグラウンド源の見積もりをした結果、主なバックグラウンド源は、結晶内部に含まれる放射性不純物であることが分かった（図 2 参照）。一方、この結果から、CANDLESIII 装置のバックグラウンドレベルは 10^{-3} 事象/keV/年/kg と世界の他の次期二重ベータ崩壊測定装置と比較して同等、もしくはそれ以下の超低バックグラウンドを実現していることが分かった。今後も測定を継続し半減期下限値を更新する一方、さらに高感度の検出器開発を進め、マヨラナ性検証を実現する。

[1]CANDLES Collaboration, Phys. Rev. D 103(2021)092008

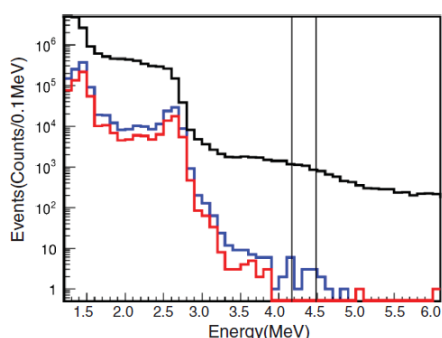


図 1：高純度結晶を用いた二重ベータ崩壊測定結果。赤線は、各解析的バックグラウンド除去の後のエネルギースペクトルである。Q 値領域に事象が観測されていないことがわかる。

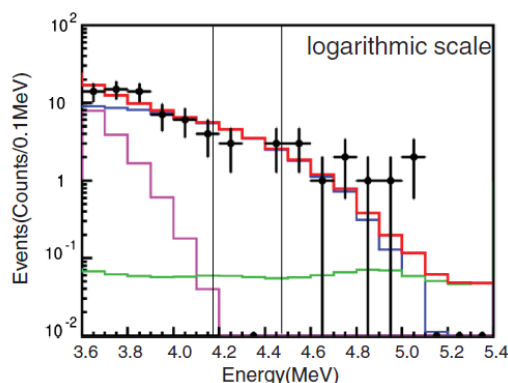


図 2：全結晶を用いたエネルギースペクトル。赤線は見積もられる全バックグラウンド事象、青線は結晶内部の不純物によるバックグラウンド事象を示している。Q 値付近では、結晶内部の不純物の影響が大きいことがわかる。

研究業績リスト

I 査読論文

該当なし

II 国際会議等における発表

該当なし

III 国内会議等における発表

該当なし

IV 著書

該当なし

V 受賞と知的財産

該当なし

VI その他研究業績、発表文献

該当なし