

液体アルゴンを用いた暗黒物質の直接探索

研究代表者 田中 雅士

(理工学研究所 理工研が募集する次席研究員)

1. 研究課題

重力を通じた間接的な検証等により、この宇宙には光では検出できないが質量を持つ物質(暗黒物質)が存在することが強く示唆されている。この暗黒物質を直接検出することは、近年の素粒子・宇宙物理学の最重要課題のひとつである。現在世界中でさまざまな標的物質(半導体素子、結晶シンチレータ等)を用いた実験が行われているが、いくつかの実験(DAMA 実験、CoGent 実験等)がその兆候をとらえはじめている。これらの実験では、暗黒物質は約 10 GeV(炭素原子程度の重さ)を持ち、比較的低速(約 300km/s)で銀河系内を漂っていると考えられている。本研究の目的は、標的として液体アルゴンを用いてこの暗黒物質の直接観測をめざすことにある。

液体アルゴンは粒子検出器として優れた性能を持ち、かつ安価であることから大型化が進む暗黒物質探索実験において大きな利点をもつ。一方で気液 2 相型検出器(図 1)の採用することにより、高い背景事象除去が実現可能となるため、同サイズの検出器でもより広い物理領域(暗黒物質質量)に感度をもつことが期待できる。本研究では、有効質量が数 10kg 程度の気液 2 相アルゴン検出器を製作し、地上および背景事象の少ない地下実験施設においてデータ取得し暗黒物質探索(ANKOK 実験)することを目指す。

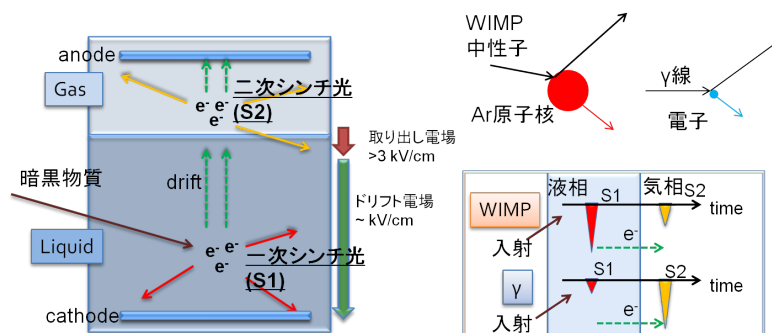


図1 気液 2 相式アルゴン検出器の原理

2. 主な研究業績

2.1 小型プロトタイプ検出器を用いた原理検証実験および性能の理解

2015 年度は昨年度に引き続き、直径 7cm 高さ 10 cm(有効質量約 0.5kg)の小型プロトタイプ検出器による原理検証実験を進めた(図 2 左)。その際以下の 2 点について性能向上を行った。①光電子増倍管の本数を 2 から 6 まで増やすことによる検出器内部の反応位置再構成能力の向上、②昨年度の開発成果であるアルゴン光に直接感度のある MPPC(浜松ホトニクス社と共同開発)をプロトタイプ検出器内に実装。この検出器を用いて 2016 年 2 月に約一週間のデータ取得ランをおこなった(図 2 右)。取得

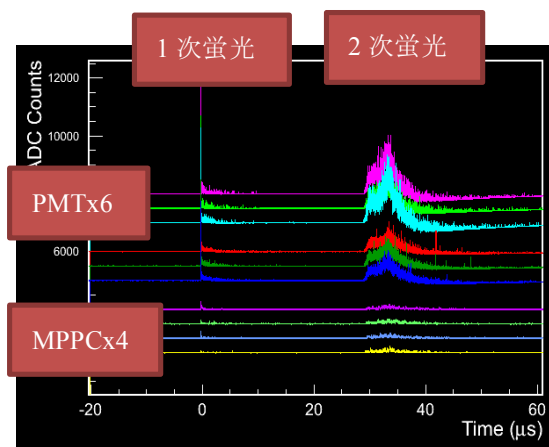


図2 プロトタイプ検出器および取得データ波形

データを理解し検出器性能を評価するためには詳細なシミュレーションが重要となるが、これを GEANT4 をもちいて実装した。また実験において主要な背景事象の一つとなるラドン起因の α 線事象についての理解を進めた。

2.2 本実験検出器の設計および製作の開始

2015 年度には小型プロトタイプで得られた情報をもとに有効質量 30kg の本実験検出器の設計を進めた。また、その中核となる容量 200L の液体アルゴン保持用低温容器を製作し、2015 年 10 月および 2016 年 2 月に性能評価試験を行った。その結果、目標とする液体アルゴン純度 ($O_2 < 1\text{ppb}$, $N_2 < 0.1\text{ppm}$) を達成し、1 週間にわたる安定保持に成功した。

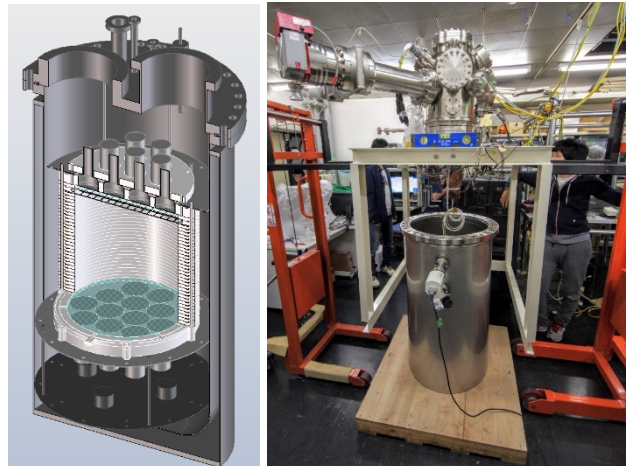


図 3 30kg 検出器設計案および実作した 200L 容器

2.3 大深度地下実験環境における背景事象の理解

2015 年度は将来の地下実験施設におけるデータ取得に向けた研究に着手した。暗黒物質探索における主要な背景事象となる環境中の中性子は、大深度地下実験施設において地上に比べ大幅に減少することが知られているが、その詳細については不明な点が多い。この理解を進めるためのコンソーシアムを ANKOK 実験と同様に地下実験施設における探索実験を行ういくつかの実験グループと共同で立ち上げて、いくつかの測定を行った。その中で早稲田大学は岐阜県の東濃地科学センターの地上および地下 100m において中性子フラックスの測定・比較を行った (図 4)。

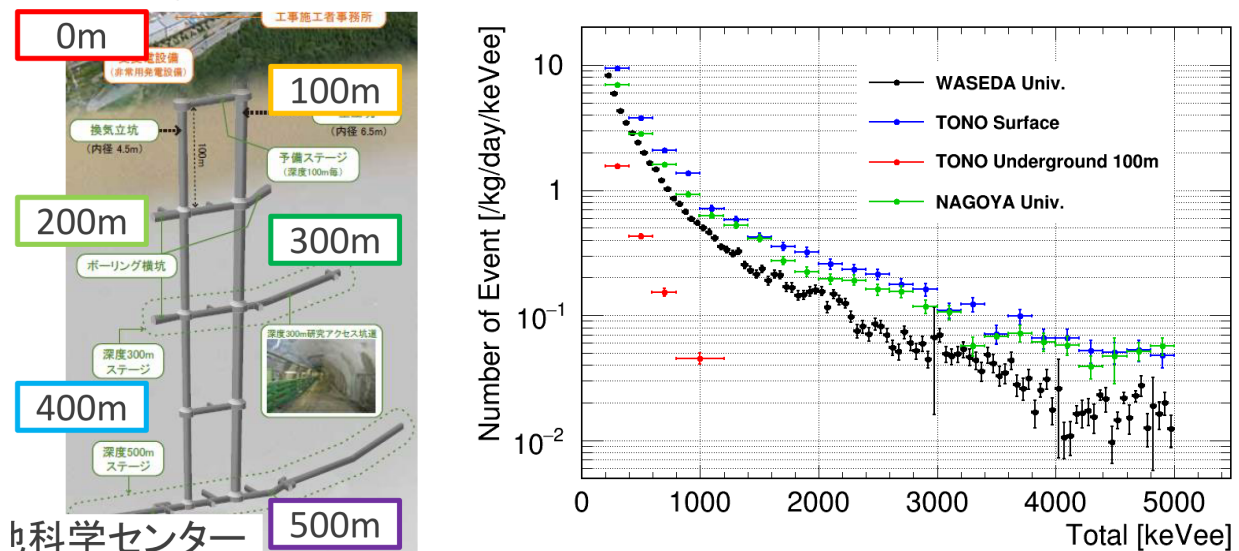


図 4 東濃地科学センター概略図および中性子フラックス測定結果

3 共同研究者

寄田 浩平 (理工学研究所 准教授)
中 竜大 (名古屋大学 KMI/高等研究院)

身内 賢太朗 (神戸大学 理学研究科)

4. 研究業績

4.1 論文

M.Tanaka,T.Washimi,K.Yorita,"Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light", submitted to NIMA

4.2 解説・著書

特集：暗黒物質に異説「暗黒物質を捉える」 日経サイエンス 2015 年 10 月号

4.3 講演

T.Washimi,M.Tanaka,K.Yorita, "Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light",International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016)、20 January 2015 KEK, Tsukuba,Japan

M.Kimura,M.Tanaka,K.Yorita, "Low Energy Response on Liquid Argon Scintillation and Ionization Process for Dark Matter Search",International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016)、18 January 2015 KEK, Tsukuba,Japan

T.Washimi,M.Tanaka,K.Yorita, "Direct Detection of Liquid Argon Scintillation with MPPC", Light LIDINE 2015 Detection In Noble Elements, 28-30 August 2015, The University at Albany, USA

2016 年 3 月 日本物理学会 (東北学院大学)

田中雅士他「中性子測定コンソーシアム」

菊地崇矩, 田中雅士他「液体シンチレータを用いた環境高速中性子エネルギースペクトルの算出」

寄田浩平, 田中雅士他「ANKOK 実験 8: 気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」

木村真人, 田中雅士他「ANKOK 実験 9: 背景事象の理解と低閾値化」

矢口徹磨, 田中雅士他「ANKOK 実験 10: 発光位置同定手法の構築と検証」

中新平, 田中雅士他「ANKOK 実験 11: 新容器(200L)の製作及び液体アルゴンの純化・保持システムの構築」

鷲見貴生, 田中雅士他「ANKOK 実験 12: 本実験に向けた検出器設計と今後の展望」

田中雅士他,“中性子測定コンソーシアム”,研究会「極低放射能技術」,2016 年 3 月,徳島大学

寄田浩平, 田中雅士他「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」,東大宇宙線研究所共同利用研究成果発表会 2015 年 12 月 東京大学

2015 年 9 月 日本物理学会年次大会 (大阪市立大学)

田中雅士他 “ANKOK 実験 5:気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索”

木村真人, 田中雅士他“ANKOK 実験 6:シミュレーション構築と検出器の性能評価”

鈴木優飛, 田中雅士他“ANKOK 実験 7:背景事象の理解と対策”

寄田浩平, 田中雅士他“気液 2 相型 Ar 光検出器の開発と高感度化”,「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」2015 年領域研究会 2015 年 5 月(神戸大学)

5. 研究活動の課題と展望

本年度は昨年までの小型のプロトタイプ検出器を用いた性能評価をさらに進めるとともに、実際の検出器の設計および主要な製作に取り組んだ。この検出器を完成させたうえでまず地上において基礎データを取得し理解したのちに、地下実験施設において暗黒物質探索を行うことが今後の課題となる。