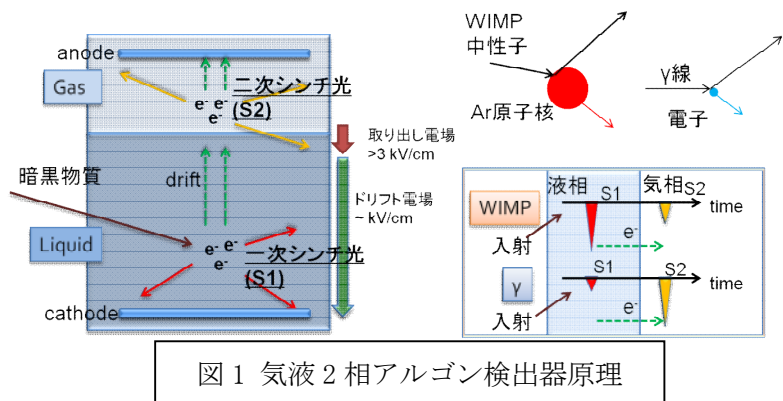


液体アルゴンを用いた暗黒物質の直接探索

研究代表者 田中 雅士
(理工学研究所 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。

2. 主な研究成果（MS ゴシック、太字、11 ポイント）

2.1 ドリフト長 30cm の液体アルゴン検出器製作

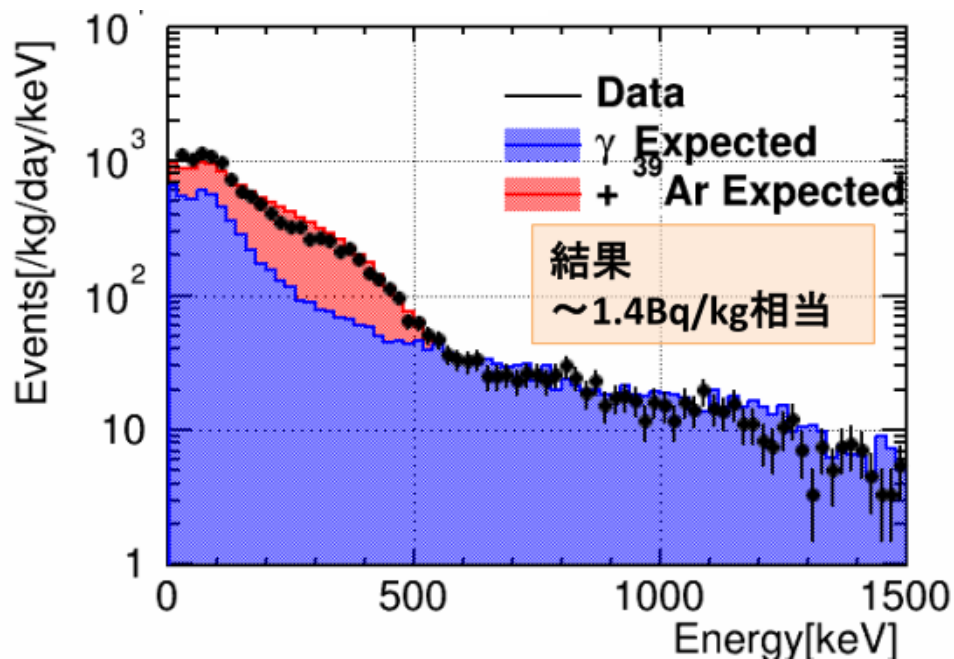
2016 年度は、今までの小型プロトタイプ（図2左、直径 7cm 高さ 10cm）から暗黒物質に感度を持つ検出器（図2右、直径 30cm 高さ 30cm）に向けて検出器を大型化するステップとして、直径 7cm 高さ 30cm の検出器の製作及び性能試験に取り組んだ。30 cm の電離電子のドリフト達成のためには、より高い液体アルゴン純度（不純物 0.3 ppb 以下）および、より高い電圧印加（30 kV 以上）が必要となる。そのため、新しいアルゴン液化装置および、Cockcroft-Walton 高電圧発生装置を開発した。2016 年 10 月および 2017 年 2 月に行ったテスト実験では 0.3ppb の純度および 35kV の高電圧印加に成功し、とりあずの目標を達成した。



図2 段階的な検出器大型化計画

2.2 ^{39}Ar 信号の検出成功

アルゴンの放射性同位体である ^{39}Ar は大気から生成されるアルゴン中にごく微量存在し、およそ 1kg のアルゴン当たり 1Bq でベータ崩壊を起こす。この ^{39}Ar は暗黒物質探索における主要な背景事象のひとつとなることが予想され、まずこの信号を検出しその特性を理解することが重要である。 ^{39}Ar を検出するには、環境中の γ 線起因の背景事象をシールドにより遮蔽することが必要となるが、今年度は約 4 トンの鉛を用いてこのシールドを構築し、直径 7cm 高さ 30cm の検出器を用いて ^{39}Ar 信号の検出に成功した(図 3)。

図3 ^{39}Ar 信号の検出

2.2 神岡地下実験施設における環境中性子フラックス測定

今年度は、暗黒物質に感度を持つ実験を行うために不可欠な大深度地下施設でのデータ取得に向けた活動も大きく進展した。暗黒物質探索には環境中の中性子が主要な背景事象となる。そのため、実験施設における環境中性子を測定し、理解することが重要となる。昨年度に早稲田主導で立ち上げた「中性子測定コンソーシアム」の活動が本格化し、共同で神岡地下実験施設における測定を進めた。コンソーシアムに参加する各グループが、様々な測定技術（ ^3He 検出器、液体シンチレータ検出器、原子核乾板、NaI 検出器）を持ち寄り、地下実験施設における中性子の総合的な理解にむけた測定を行った(図 4)。

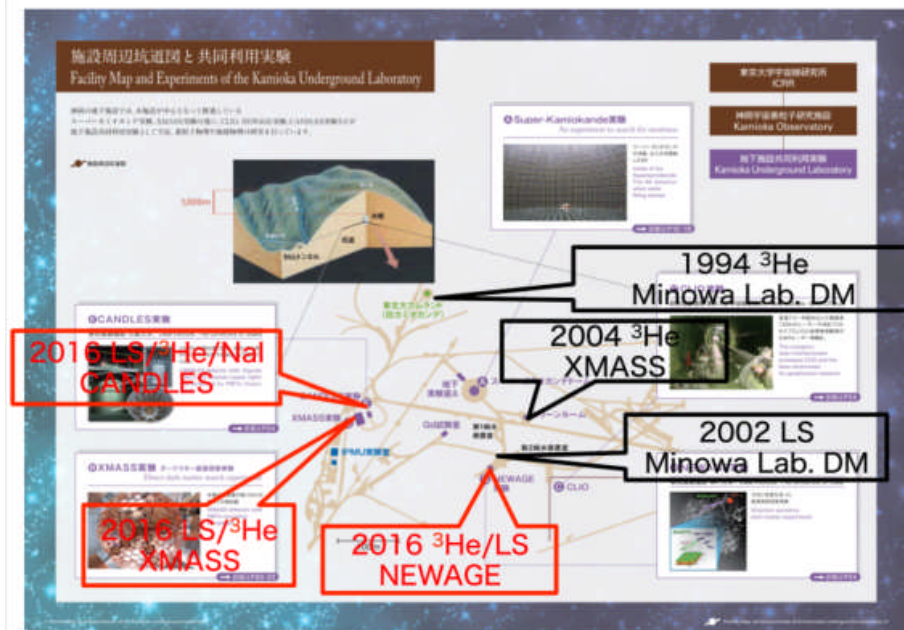


図 3 神岡地下実験施設における環境中性子測定の現状

3. 共同研究者 (MS ゴシック、太字、11 ポイント)

寄田 浩平 (早稲田大学 理工学研究所) 身内 賢太郎 (神戸大学 理学研究科)
 中 竜大 (名古屋大学 KMI/高等研究院) 吉田 斉 (大阪大学 理学部)
 竹田 敦 (東京大学 宇宙線研究所)

4. 研究業績 (MS ゴシック、太字、11 ポイント)

4.1 学術論文

○M. Tanaka, T. Washimi, K. Yorita, “Status of R&D of the ANKOK project: Low mass WIMP search using double phase argon detector,” PoS(ICHEP2016)274

○T. Igarashi, M. Tanaka, T. Washimi, K. Yorita, “Performance of VUV-sensitive MPPC for liquid argon scintillation light,” Nucl. Instrum. Meth. A833 (2016) 239-244

○M. Kimura, M. Tanaka, K. Yorita, “Low Energy Response on Liquid Argon Scintillation and Ionization Process for Dark Matter Search,” JPS Conf. Proc. 11, 040003 (2016)

○田中雅士 帝釋稜介 鈴木優飛 吉本雅浩、「地下素核実験のための中性子測定コンソーシアム」、高エネルギーニュース vol135-4、2017

4.2 招待講演

○ “Status of R&D of the ANKOK project: Low mass WIMP search using double phase argon detector,” 38th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2016), Chicago, US, August 2016

○2016 年 9 月 日本物理学会 (宮崎大学)

鷲見貴生, 田中雅士他「ANKOK 実験 13: プロトタイプ検出器を用いた背景事象分離能力の評価」

木村真人, 田中雅士他「ANKOK 実験 14: 質量 30kg 検出器の設計および製作状況」

田中雅士他「ANKOK 実験 15: 低質量暗黒物質探索感度評価」

鈴木優飛, 田中雅士他「液体シンチレータを用いた地下環境高速中性子の測定」

帝釋稜介, 田中雅士他「 ^3He 比例計数管を用いた環境中性子フラックスの測定」

○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 2016 年 12 月 東京大学

○寄田浩平, 田中雅士他「ANKOK 実験」, ダークマターの懇談会, 2017 年 1 月、神戸大学梅田インテリジェントラボラトリ、

○鈴木優飛, 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 (LBGT2017)」, 2017 年 3 月, 飛騨流山山荘

○2017 年 3 月 9 日 日本物理学会 (大阪大学)

鷲見貴生, 田中雅士他「ANKOK 実験 16: テストスタンドの増強と基礎特性評価」

中新平, 田中雅士他「ANKOK 実験 17: シールドによる環境 γ 線の低減と内部背景事象の理解」

木村真人, 田中雅士他「ANKOK 実験 18: 低エネルギー電子反跳事象の理解」

田中雅士他「ANKOK 実験 19: 質量 30kg 検出器の構築状況と今後の展望」

鈴木優飛, 田中雅士他「液体シンチレータを用いた神岡地下における環境中性子測定」

帝釋稜介, 田中雅士他「神岡地下における ^3He 比例計数管を用いた環境中性子フラックスの測定」

○田中雅士他, 新学術「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」B02 班第 8 回若手研究会, 2017 年 3 月, 石川県加賀市

4.3 学会および社会的活動 (MS 明朝体、11 ポイント)

○一般向け講演 第 31 回東濃地科学センターセミナー 「宇宙最大の謎・ダークマターをとらえる～見えない物質をどのように検出する～」岐阜県瑞浪市 地域交流センター「ときわ」 2017 年 3 月 26 日

○メディア掲載 田中雅士理学博士がダークマターを説く【東濃地科学センター】 東濃ニュース 2017 年 3 月 26 日

○新聞掲載 「早大、世界最小装置で暗黒物質観測へ」日経新聞 2016 年 10 月 17 日

○雑誌掲載 早稲田理工 by AERA (AERA ムック)

5. 研究活動の課題と展望 (MS ゴシック、太字、11 ポイント)

これまでの研究により、暗黒物質に感度を持つ検出器の製作におおよその目途がついた。今後はこの検出器を完成させようとして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。