

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成19年度採択分

平成22年 4月 5日現在

研究課題名（和文） **宇宙暗黒物質の研究**  
研究課題名（英文） **Study of Dark Matter**

研究代表者

氏名 鈴木洋一郎 (SUZUKI, Yoichiro)

所属研究機関・部局・職 東京大学・宇宙線研究所・教授



推薦の観点：創造的・革新的・学際的学問領域を創成する研究

研究の概要：

100kgの有効質量および暗黒物質の信号領域において、これまでに到達したことのない、10日に1事象という、低いバックグラウンドレベルの液体キセノン検出器を建設する。暗黒物質がキセノンと反応して発する光を検出する。低バックグラウンドを実現するため、低放射能の光電子増倍管、クリプトン除去装置などを開発し測定装置に組み込む。これにより、検出感度として $10^{-4.5} \text{ cm}^2$ が実現される。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：暗黒物質、液体キセノン、宇宙線、宇宙物理、素粒子実験

### 1. 研究開始当初の背景

暗黒物質探索は、国際的な大きな動きとなっていた。研究者の強い関心が集まり、また、激しい競争にさらされている。

日本において、これまでの暗黒物質探索の手法を大きく変える革新的手段が提案され開発研究がなされている。自己遮蔽と大光量観測による低バックグラウンドの実現である。これにより、暗黒物質の発見領域に大きく踏み込んでゆくことが可能となる。日本のこの探索技術は、国際的にも高く評価され期待されていた。

### 2. 研究の目的

本研究では 800kg の液体キセノンを用いたシンチレーション検出器により極低バックグラウンドを達成し、暗黒物質に対し従来の100倍（暗黒物質の相互作用の強さとして、 $10^{-4.5} \text{ cm}^2$ ）の感度を実現し、発見を目指す。

### 3. 研究の方法

暗黒物質探索実験の感度を決定しているものは、主に暗黒物質の標的となる物質の量と環境に存在する放射性不純物などのバックグラウンドである。

この検出器は、暗黒物質がキセノンと反応したときの反跳エネルギーをシンチレーション光として光電子増倍管(PMT)で検出する。大きな阻止能をもった液体キセノンを貯めた容器では、キセノンの外縁部で外部からのガンマ線やベータ線が止まってしまうため、容器の中央近傍ではバックグラウンドの低い環境を作ることができる。中央近傍の事象を選択するには事象の発生点を求める必要があるが、液体キセノンは大発光量を持つため（代表的な無機シンチレーターであるNaI(Tl)に匹敵）、多数の光電子増倍管によって光分布を測ることによってそれが可能となる。この手法は、従来のバルクな検出器全質量でのエネルギー発生を測定してきた暗黒物質探索装置と異なる全く新しいものである。液体キセノン自身に内在するバックグラウンドも考慮する必要があるが、キセノンは液相、気相を使い分けることにより純化が比較的容易である。また実験中も純化が可能

であるため、極めて低いレベルまで内在するバックグラウンドを低減することができる。こうした本研究の利点によって 0.0001 事象/kg/keV/day のレベルまでバックグラウンドを下げ、検出感度を上げることができる。このような検出器により、暗黒物質の直接検出を目指す。

#### 4. これまでの成果

(1) 研究に必要な低バックグラウンド光電子増倍管に関しては、開発、製作が完了している。既に、増倍管支持容器に設置され、信号線、HV線が、接続されている。バックグラウンドのレベルとしては、これまでの標準的は増倍管の放射線不純物濃度のほぼ100分の1のものが得られた。これにより、目標とされる測定器のバックグラウンドレベルを達成できる見通しがたった。

(2) クリプトンを除去する蒸留装置も完成し、一回のパスで、キセノン中のクリプトンを1万分の1にできることが実証された。

(3) 部材の放射線測定は250種類にも及んだ。その中から、低バックグラウンドの部材を選択し、総バックグラウンド量で、増倍管からのバックグラウンドの3分の1以下にすることに成功した。

(4) ガス循環によりラドンを取り除くことには成功した。液体循環でのラドン除去方法開発に現在取り組んでいる。当面はガス循環によりラドンの除去を行う仕組みを稼働させる。

そのほか、エネルギー較正装置の製作も終了し、最終的には組み入れを待っている。較正装置に使用する特殊な放射線源も、韓国の共同研究者により製作されている。データ収集系も最終調整段階にはいつている。

現在、支持容器を入れる真空容器の製作が進行中であり、今後は、その設置作業、そして配管作業が進められてゆく。

平成22年の夏ごろに測定器が完成する予定である。

#### 5. 今後の計画

平成22年度に検出器の本体を完成、調整、液体キセノンの純化、不純物の除去を行う。データ収集、データ解析に必要なソフトウェアの開発を並行しておこなう。平成22年度から、本研究の最終年度である平成23年度にかけて、データの収集と、必要とあれば、さらなるキセノンの純化を行ってゆく。本計画の予定した研究成果が得られるであろう。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)  
(研究代表者は二重線、研究分担者は一重線、連携研究者は点線)

#### ●論文

The XMASS collaboration (K. Abe, J. Hosaka, T. Iida, M. Ikeda, K. Kobayashi, Y. Koshio, A. Minamino, M. Miura, S. Moriyama, M. Nakahata, Y. Nakajima, T. Namba, H. Ogawa, H. Sekiya, M. Shiozawa, Y. Suzuki, A. Takeda, Y. Takeuchi, K. Ueshima, M. Yamashita, K. Kaneyuki, Y. Ebizuka, J. Kikuchi, A. Ota, S. Suzuki, T. Takahashi, H. Hagiwara, T. Kamei, K. Miyamoto, T. Nagase, S. Nakamura, Y. Ozaki, T. Sato, Y. Fukuda, T. Sato, K. Nishijima, M. Sakurai, T. Maruyama, D. Motoki, Y. Itow, H. Ohsumi, S. Tasaka, S.B.Kim, Y.D.Kim, J.I.Lee, S.H.Moon, Y. Urakawa, M. Uchino, and Y. Kamioka), "Distillation of Liquid Xenon to Remove Krypton", *Astroparticle Physics* 31, 290-296 (2009), arXiv:0809.4413 査読あり

The XMASS collaboration, (K. Ueshima, K. Abe, T. Iida, M. Ikeda, K. Kobayashi, Y. Koshio, A. Minamino, M. Miura, S. Moriyama, M. Nakahata, Y. Nakajima, H. Ogawa, H. Sekiya, M. Shiozawa, Y. Suzuki, A. Takeda, Y. Takeuchi, M. Yamashita, K. Kaneyuki, T. Doke, Y. Ebizuka, J. Kikuchi, A. Ota, S. Suzuki, T. Takahashi, H. Hagiwara, T. Kamei, K. Miyamoto, T. Nagase, S. Nakamura, Y. Ozaki, T. Sato, Y. Fukuda, T. Sato, K. Nishijima, M. Sakurai, T. Murayama, D. Motoki, Y. Itow, H. Ohsumi, S. Tasaka, S.B.Kim, Y.D.Kim, J.I.Lee, and S.H.Moon et al.) "Scintillation yield of liquid Xenon at Room Temperature", *Nucl. Inst. And Meth. A* 594, 148 (2008), arXiv:0803.2888 査読あり

#### ● Web

XMASS 実験ホームページ  
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/xmass/index.html>