



Title	DARK MATTER SEARCH WITH CaF <sub>2</sub> SCINTILLATOR
Author(s)	裕, 隆太
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3143742">https://doi.org/10.11501/3143742</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	はざま 裕	りゅう た 隆 太
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	
学 位 記 番 号	第 1 3 6 2 8 号	
学 位 授 与 年 月 日	平成 10 年 3 月 25 日	
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻	
学 位 論 文 名	DARK MATTER SEARCH WITH $\text{CaF}_2$ SCINTILLATOR ( $\text{CaF}_2$ シンチレーターによるダークマター探索)	
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岸本 忠史	
	(副査) 教 授 長島 順清    教 授 高杉 英一    助教授 阪口 篤志 教 授 南園 忠則	

### 論 文 内 容 の 要 旨

全宇宙質量の大半を占めダークマター（宇宙暗黒物質）の最も有力な候補とされる WIMPs（弱い相互作用をする未知中性重粒子）を探索するために、アクティブ及びパッシブルシールドで囲まれた分割型  $\text{CaF}_2$  検出器システム（ELEGANT VI）を開発した。ダークマターと  $\text{CaF}_2$  結晶中の  $^{19}\text{F}$  核との弾性散乱により、F 原子核は反跳を受け、その核反跳の検出を行う。F 核は散乱断面積が大きく、最適な核の 1 つである。この反跳エネルギーは数 10keV の程度であり、更に反応率は 1 日に数回の量なので、低バックグラウンド、低ノイズの検出器で低エネルギー領域を観測しなければならない。この数 10keV 領域のバックグラウンド源は数 MeV 領域の二重ベータ崩壊の探索に比べ、まだよく分かっていない。

ELEGANT VI システムはこの低エネルギー領域でバックグラウンドを減らす 3 つの大きな特徴を備えている。(1) 反同時計測（ベトー）のアクティブシールドを全方向（ $4\pi$ ）に施した。ライトガイドにシンチレーター（ $\text{CaF}_2$  (pure)）を用いることにより左右の波高の違いにより中心の検出器（ $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ ）からの信号のみを選ぶことが可能となった。光電子増倍管（PMT）からのバックグラウンド除去、特に低エネルギーではほぼ 1 桁の除去を達成し極めて有効であることが分かった。(2) 反跳イベントは局在化したイベントであり、バックグラウンドイベントであるベータ線、ガンマ線によるイベントと空間分布に差があることを利用し、 $\text{CaF}_2$  結晶を 45mm 立方に分割化した検出器を用いた。(3) 結晶間の物質量を限界まで減らし、バックグラウンド源を減少させ、そのベトー効率を低エネルギーまで向上させた。NaI と異なり潮解性のない  $\text{CaF}_2$ 、CsI 結晶はこのためにも重要であった。さらに低エネルギー信号を測定するために 1 光子信号まで閾値を下げ左右の PMT の同時計測をとり、左右の和で有効閾値を 3 光子程度に設定することでバックグラウンドを減らしながら閾値を下げることを達成した。

$\text{CaF}_2(\text{Eu})$  結晶中での Ca 核、F 核の反跳エネルギーからシンチレーション光への変換効率を求める測定を反跳エネルギーが各々 25-91KeV 及び 53-192keV の領域で行った。その結果、各々に対し、11-20%、9-23% であることが分かった。この測定は各々のシンチレーターに対するダークマターの核反跳スペクトルを評価するためには必須である。

ダークマター探索におけるバックグラウンドの中で中性子によるイベントは除去出来ず、この低エネルギーでの寄与を調べる事が極めて重要である。このため、パッシブシールドに関しても従来の鉛、銅のみでなく、3 つの中性子シールド（Cd シート、LiH 入りパラフィン、 $\text{H}_3\text{BO}_3$  入り水タンク）が装備された。この中性子シールド及び宇宙線のバックグラウンド源のある地上で測定を行うことにより、この評価が可能となった。結果、鉛、銅での宇宙起

因のバックグラウンドの寄与が大きいことが分かった。上記の結果を踏まえ、シールドを増強した ELEGANT VI フルシステムの探索実験が地上で行われ、グランサッソ地下での DAMA(BPRS) 国際共同実験による結果と遜色ない結果を得た。

### 論文審査の結果の要旨

$\text{CaF}_2$  結晶を用いた検出器を開発し、宇宙のダークマターの探索を行った。宇宙には未知素粒子からなるダークマターで満たされている可能性が高い。その中でも素粒子論が预言する超対称性対粒子は宇宙論だけでなく原子核論とも矛盾しない最も有力な候補者である。この粒子は非常に稀に通常の物質と散乱をおこし、低エネルギーの反跳を与える。

こういった信号を検出するために  $\text{CaF}_2$  結晶を超低バックグラウンド環境においた検出器システム (ELEGANT VI) を開発した。 $\text{CaF}_2$  結晶は鉛や銅といった遮蔽 (Passive Shield) の他に、 $\gamma$  線検出器を回りにおき、外からのバックグラウンドを検出器で捕まえ反動時計数することで排除する Active Shield を有している。この Active Shield が全方向に出来るよう設計されており、現在の世界の水準を一桁近く上回るバックグラウンドの排除を達成できた。

この検出器を用いて豊中地区の理学研究科の実験室で測定を行った。海外で行われてきた探索は宇宙線等の自然環境バックグラウンドの少ない地下実験室を利用してきたが、地上で行った実験で世界の地下実験と並ぶ所まで到達した点は特筆できる。今後の地下に置ける実験を大いに期待させるものである。この論文は理学博士論文として十分価値あるものと認める。