

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19740128  
 研究課題名（和文） XMASS実験におけるシミュレーションの精度向上  
 研究課題名（英文） Improvement of simulation accuracy for the XMASS experiment.  
 研究代表者  
 安部 航（ABE KO）  
 東京大学・宇宙線研究所・助教  
 研究者番号：30401285

研究成果の概要（和文）：暗黒物質探索を行うXMASS実験で使用される、測定器応答のシミュレーションの精度を向上させるため、これまで精度の良い測定が行われていない液体キセノンの基礎パラメーターの測定を行った。液体キセノン中での検出器内部での反射率、キセノンの吸収長、散乱長の測定を行い、得られた結果をシミュレーションへ組み込むことで、より正確な測定器応答シミュレーションを実現させた。

研究成果の概要（英文）：Basic parameters of vacuum ultra violet inside the liquid xenon, such as reflectivity, absorption length and scattering length were measured. By inputting these parameters to the simulation of XMASS detector, accuracy of the simulation was improved.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	360,000	3,660,000

研究分野：宇宙線、暗黒物質

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

（1）XMASS実験は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、暗黒物質を、過去の実験の数10倍の感度で直接探索することを目的としている。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。発光量、質量数の大きな液体キセノンを発光

体とシールドとして用いることで、極めて低い環境バックグラウンドを実現することで非常に高い感度での観測を行う実験である。

（2）世界中で行われている暗黒物質探索実験は日々感度が上がり続けており、理論的に発見される可能性が高いと思われる領域に手が届き始めている。進行中の実験以外にもカナダ、アメリカ、ヨ

ヨーロッパのなど世界の地下実験施設の多くで大型の次期暗黒物質探索実験の準備が行われており、発見を目指した国際競争が非常に激しい状況となっている。このためいち早く、より感度の高い実験を始めることが急務となっている。

## 2. 研究の目的

(1) 暗黒物質探索実験は、これまで観測されたことのないものの探索を行う実験で、従来の測定器では調べることが不可能であるような低バックグラウンド環境での実験である。

(2) バックグラウンドシグナルはシミュレーションを用いて見積もる他に方法がない。またこれまで観測されたことのないシグナルをそのバックグラウンドの中から探し出すため、シミュレーションによるバックグラウンドシグナルの正確な理解が極めて重要である。

(3) シミュレーションでのバックグラウンドシグナルの見積もりの正確さを上げるためには、測定器内部で発生する個々の物理事象がどれだけ正確に理解されているかが重要となってくる。バックグラウンドとなる、放射性核種や、電子、ガンマ線、またそれらと液体キセノンとの反応といった部分については比較的 understanding が進んでおり、シミュレーションで用いるパラメーターも精度のよいものである。

(3) しかし、それらの粒子がキセノン中で出すシンチレーション光の、液体キセノン中での振る舞いに関する部分について、あまり精度のよいデータが存在していない。

(4) 必要となるデータは、液体キセノンのシンチレーション光である 175nm 真空紫外光に対する、測定器材料の、液体キセノン中での乱反射率、鏡面反射率、また液体キセノンそのものの吸収長、散乱長などである。これらは、こういった粒子検出器実験以外では一般にはあまり使われないパラメーターであるため、測定データがほとんど存在せず、自分で精度のよいパラメーターを測定する必要がある。

(5) 正確で精度の高いシミュレーションが必要となるこれらの基礎パラメーター、液体キセノン中での検出器内部の反射率、液体キセノンの吸収長、散乱長について測定を行い、シミュレーションに組み込むことで、より正確なバックグラウンドを見積もることが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

(1) 真空中でキセノンのシンチレーション光と同じ波長の真空紫外光を導入して、材料の反射率等の測定を行える測定系、及び液体キセノンを導入した状態でシンチレーション光のパラメーター測定を行える測定系を設計製作する。

(2) 検出器内壁の70%を覆い、シンチレーション光に対して最も大きな影響をもつ光電子増倍管窓部について、反射率測定を行う。

(3) 測定器素材が液体キセノン中で使用されることで、液体キセノンの発光過程に及ぼす影響を見積もり、影響の除去を行う。これが残っている状態では他のパラメーターを測定することができない。

(4) 液体キセノン中での吸収長、散乱長の測定を行う。

(5) 得られた結果をシミュレーションに組み込み、より精度の高いバックグラウンド見積もりを行う

## 4. 研究成果

(1) 真空中において測定器内壁面積の約70%と最も大きな領域をしめる光電子増倍管の窓について反射率とその角度依存性の測定を行った。

20度から60度と角度を変えながらキセノンのシンチレーション光と同じ波長の真空紫外光を入射させ、10~16%の角度依存性をもつ反射率について、精度0.8%の高い精度で測定した。反射の成分については鏡面反射がほとんどで乱反射の成分がほぼ見られないことが確認された。(図1, 2参照)

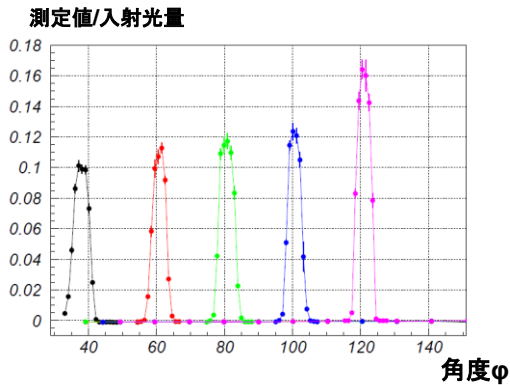


図1 入射角20度(黒)30度(赤)40度(緑)50度(青)60度(紫)で真空紫外光を入射させ、角度を変化させながら反射光の大きさを観測したデータ。鏡面反射の成分しか見られない

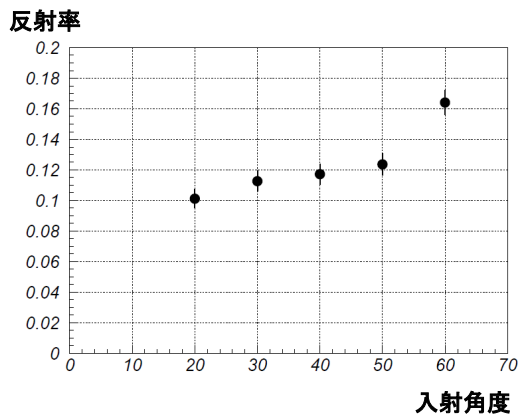


図2 真空中での光電子増倍管窓表面の反射率とその角度依存性

(2) キセノン中において測定器材料がシンチレーション光に及ぼす影響を調査した。

①キセノンは物質を溶かす力が強いので、検出器内部で使用する材料によってはその一部が溶け出し、これがキセノンの光学パラメータに影響を及ぼす可能性がある。

②キセノン中でのパラメータ測定を開始したところ、実際に使用する光電子増倍管中に当初の予想よりも非常に大きく光学パラメータへの影響をもつものが存在することが判明した。

③この不純物は光学パラメータ測定を難しくしてしまうため、正確な見積もりと除去が必要である。さらにこの影響はXMASS実験そのものの感度を著しく低下させてしまうものであるため、XMASS実験にとっても非常に大きな問題となり、除去が不可欠

である。

④各材料を液体キセノン中で使用することでキセノンの光学パラメータへ与える影響の大きさについて、実際に液体キセノン中へ各材料を入れた状態でシンチレーション光の測定をすることで調査を行った。

⑤影響の測定の結果から、光電子増倍管の回路部分に残留する不純物がキセノン中に溶出し、吸収長を短くしていることが突き止められた。

⑥光電子増倍管の回路部分について、キセノン中での測定を繰り返しながら、溶出する不純物を十分に取り除く洗浄方法の確立を行った。

吸収長が短くなることはXMASS実験において非常に大きな影響をもつものであり、この原因物質とその除去方法の確立はXMASS実験にとって非常に重要な成果である。

(3) この方法で十分に不純物を取り除いた光電子増倍管を用いて、液体キセノンが導入されたチェンバーでキセノンの吸収長、散乱長の測定を行った。

(4) 精度の高いバックグラウンドデータの再見積もりを行った。

①得られた測定結果から、シミュレーションに組み込まれていたパラメータの調整を行った。

②キセノンパラメータについては誤差範囲も含めて、バックグラウンドの再評価を行った。

③シミュレーションがより正確なものとなるよう、検出器構造について、より現実の検出器を反映させるよう再調整を行った。

④これにより得られたバックグラウンドデータは、これまでより正確となっただけでなく、キセノンのパラメータの変化に対する影響についても見積もることができており、今後XMASS実験で実際に観測されるデータを評価する上で非常に有用な結果である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

安部 航、「XMASS 実験 76 800kg 検出器の性能評価PMT反射率」、日本物理学会、2008年3月23日、近畿大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安部 航 (A B E K O)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：30401285

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし