

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740165

研究課題名（和文） XMASS実験でのバックグラウンド低減のための検出器構造研究

研究課題名（英文） Study of detector structure to reduce background of 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 実験におけるさらなる感度向上を実現するため、シミュレーションによる性能評価を用いてバックグラウンドを低減するための構造研究を行った。実際に測定を開始した XMASS 実験のデータを使用することで、より現実を反映したシミュレーションへの修正、調整を行い、同時に測定データのバックグラウンド源の絞り込みにも成功した。それらのシミュレーション結果を踏まえて実験のバックグラウンドを低減することができる構造案の決定を行った。

研究成果の概要（英文）：To improve sensitivity of XMASS dark matter search experiment, study of structure to reduce remaining background was done. By using observed data newly acquired in XMASS experiment, modification and re-tuning simulation for more realistic estimation was realized. Identification of backgrounds from real data was also realized with this simulation. By taking into account these simulation results, realistic candidate of structure to reduce background was decided.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
年度			
年度			
年度			
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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 実験は約1トンの液体キセノンをシンチレーターとして使い、これまで直接観測されたことのない暗黒物質の直接探索を目的としている。実験では、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検出を行う。液体キセノンの高い発光効率、非常に強力なガンマ線遮蔽能力といった特徴を用い、過去の実験と比較して数10倍高い感度での観測が可能になる。

研究開始当初はモンテカルロシミュレーション等を用いた実験の性能評価が終わり、検

出器の最終設計が確定して実際の検出器の制作が開始された状況だった。

(2) 暗黒物質探索は世界でも激しい競争が続けられており、CDMS、XENON、WARP等多くの実験グループから、次々と新しい感度での上限値が出されている。また XMASS 実験と同程度の感度をめざす次期計画についても、多くの実験グループで同時に進められている状況だった。

## 2. 研究の目的

(1) 建設が開始された XMASS 検出器はこれまでにない高い感度での観測を行うが、同程度の感度をめざした実験が世界中で進められている状況では、できるだけ早い段階で、さらにこの感度を超えていくための研究を始めることが重要である。

(2) 感度向上にはバックグラウンドの低減が必要となる。XMASS 検出器は液体キセノンと光電子増倍管、そしてそれを支える銅の構造体のみからなる球形の非常に単純な構造であり、検出の方法もシンチレーション光の観測を行うだけで非常に単純なものである。この単純な仕組みは、最初の建設とその後の安定稼働、検出器応答の理解しやすさなど、暗黒物質観測実験において大きな利点となるものである。

(3) 一方で、これまでのモンテカルロシミュレーションによるバックグラウンドの評価から、建設中の検出器に予想される主要なバックグラウンドはこの単純な構造のままでは除去が難しいことがわかっている。検出器内壁には実際の組み立てのために、構造にわずかな隙間を残している部分があるが、ここで発光が起こった場合、まれにごく一部の光しか光電子増倍管により観測されないことがある。そういった場合には、壁際の事象であるにもかかわらず、内部で発生した事象と間違われてしまいことがあり、これがバックグラウンドとなっている。

(4) 本研究の目的と意義は

①建設が開始された、XMASS 実験におけるバックグラウンドをより低減するための検出器の改良方法について研究を行う。モンテカルロシミュレーションを用いるこ

とで、バックグラウンドを低減できる構造を明らかにする。

また使用する素材についての特性評価も行い、実際に使用することの出来る最終的な改良構造を決定する。

②検出器の体積を一桁大きくすることで大幅な感度向上を目指す、次期 XMASS 実験においてもバックグラウンドのさらなる理解と低減は重要な要素であり、現在建設中の検出器の感度向上だけでなく、次期計画にとっても必要な研究である。

## 3. 研究の方法

(1) 中心での発光事象として間違われてしまう事象は、壁際数 mm のところで発生していることがシミュレーションによる研究から見積もられている。これを減らすために

①この部分で衝突による発光事象が起こらないよう、壁際数 mm の領域を液体キセノン以外のもの満たす構造

②壁際での発光と中心での発光との識別をより明確に行える仕組みを導入するために、壁際での光の量を変化させるよう、壁での反射率を変更した構造

等の候補について研究を行う。シミュレーションによる性能評価をもとに構造決定を進めていく。

(2) 使用する材料についてもシミュレーションと平行してサンプルを入手し、必要な性能、光学特性や、バックグラウンド源となる放射性不純物が十分に少ない材料であることなどについてゲルマニウム検出器等を用いて確認を行う。

## 4. 研究成果

(1) シミュレーションの最適化

①壁での反射率の変更などシミュレーションによる構造の詳細な性能評価を進める中で、この性能が検出器素材の反射率や屈折率等の光学的特性に対して、想定していたよりも大きく依存することを発見した。

②より正確に反射等が扱われるようシミュレーションプログラムに改良を加えると共に、候補としていた材料のこれらの特性につ

いても再評価を行い、得られた正確な特性値をシミュレーションに反映させた。

③XMASS 実験が測定を開始したことから、多くの実験データが収集されるようになり、検出器についてその性能と、使用されている素材や液体キセノンそのものについても、より多くの情報が得られるようになった。得られたデータとシミュレーションの比較を行うことで、光電子増倍管など検出器素材の反射率、屈折率、液体キセノンの吸収長、散乱長、屈折率等多くのシミュレーション内部のパラメータについて、より現実を反映するよう調整を行った。

(2) 実験データのバックグラウンドの理解。また XMASS 実験の測定データからは、当初予想されていたバックグラウンドに加えて、多数の予期していなかったバックグラウンドが存在することが解析の結果確認された。予期しなかったものではあったが、バックグラウンドの低減を行うことが本研究の目的であるため、これらの原因の特定をシミュレーションを用いて行った。

①原因と考えられる多数の候補を、シミュレーションに修正、再調整を施して実現し、実測データと比較評価をすることで、測定データを再現することができるバックグラウンド源の絞り込みを行った。

②これと並行して測定器の一部素材については、高純度ゲルマニウム検出器等を使用して放射性同位元素量の再評価を行った。

③これらの結果を合わせて評価することで、バックグラウンド源として想定していた壁際での構造に起因とするものと、想定していなかった光電子増倍管のいくつかの部品からの放射線を原因として発生するものにバックグラウンド源を絞り込むことに成功した。

④原因特定の成果と合わせて、データをもとにしたシミュレーションの修正調整により、XMASS 実験の検出器応答をよく再現し、測定されたデータのバックグラウンドについても正確に理解を進めることができるシミュレーションを得ることができたことも成果の一つである。

#### (4) 構造案の決定

①これらのシミュレーション結果をもとに現在の検出器に対して、検出器構造と光電子増倍管の部材を起因とするバックグラウン

ドを減らすための改良構造の検討、決定を行った。

②シミュレーションを用いて、バックグラウンド原因となっている構造周りの修正、改良による性能の変化を評価した。バックグラウンドの原因となる構造周辺を無酸素銅を用いて埋めてしまう構造に加えて、さらにその領域の光が検出器内部へ出ないように、領域全体を覆う構造を追加する改良により、大幅なバックグラウンドの低減ができることが、シミュレーションから確認できた。

③この案をもとに実機への取り付け方法や、分解組立などの実際の作業を考慮した検討を行い、具体的な改良案の決定を行った。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

安部 航、「XMASS 実験:事象再構成 1、光電子数情報による再構成」、日本物理学会、2012年3月27日、関西学院大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：