

2. 現在までの研究状況 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください。様式の変更・追加は不可(以下同様))

- ① これまでの研究の背景、問題点、解決策、研究目的、研究方法、特色と独創的な点について当該分野の重要文献を挙げて記述してください。
- ② 申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果について、問題点を含め①で記載したことと関連づけて説明してください。
- なお、これまでの研究結果を論文あるいは学会等で発表している場合には、申請者が担当した部分を明らかにして、それらの内容を記述してください。

1. これまでの研究の背景、問題点、解決策、研究目的、方法、特色と独創的な点

申請者はこれまで2年間、XMASS 実験に参加し暗黒物質探索を行ってきた。暗黒物質は全宇宙のエネルギーの約27%を占めていると考えられていて、原子からできている通常の物質の5倍も多く存在しているにも関わらず、重力相互作用をするという以外にその性質が分かっておらず、これを明らかにすることは宇宙物理学において非常に重要な課題である。暗黒物質の正体については様々な候補があるが、Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) と呼ばれる素粒子であるという考えが有力である。XMASS 実験はこの WIMPs を直接検出し 世界で初めて暗黒物質を発見することを目的としている。XMASS 検出器は次のような設計になっている。検出器を運転するには、その検出器の特性を知るための較正が必ず必要になる。XMASS では従来、液体キセノン中に線源を導入しデータ取得をすることによって検出器較正を行ってきた(内部較正)。しかし内部較正では液体キセノン中に線源を導入するため、検出器の安定性を乱す危険性が高い。そのため、検出器外側に線源を設置する外部較正を行うことで内部較正の回数を減らすための研究を行った。

2. 申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果

○外部較正装置の改良

XMASS 実験では主に液体キセノン中に線源を導入する内部較正を定期的に行っていた。しかし線源が液体キセノン中に落下して取り出せなくなる事故が発生するなど、検出器の安定性を損なう危険性が高かった。一方で、液体キセノンの自己遮蔽能力を調べるために外部較正も従来より行われていた。申請者は外部較正が検出器の内部較正の主な目的である液体キセノンの発光量の測定に用いることを着想し、外部較正装置の刷新を行い、この目的に用いることができるよう改良した。改良前と改良後の外部較正装置を図に示す。外部較正によって頻繁に発光量の測定を行うためには、手軽に操作が行えることと、測定の再現性を確保することが必要である。そのため、申請者は図中の細く描かれたチューブを導入した。線源はこの細いチューブの中をフィッシュテープと呼ばれる道具を用いて突き当たるまで送り出す。この仕組みは Borexino 実験で採用されている較正装置を参考にした。この方式によって毎回同じ場所で線源が固定され、従来の装置では 3cm 程度であった線源の位置精度が 5mm 程度にまで改善された。線源の導入についても、従来は必ず2人いなければできず複雑なため一部の共同研究者にしか扱えなかったが、手順を簡略化したことで、今後は毎週異なるシフト作業者が1人で較正作業を行うことができるようになる。これによって毎週欠かさず発光量を測定することができる。

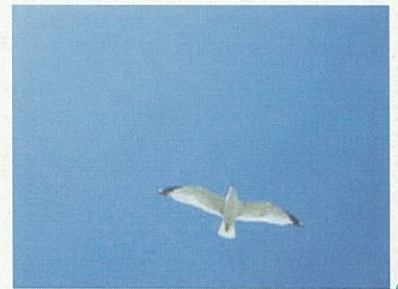


図 1: カモメ

○外部較正データを用いたモンテカルロシミュレーションの改良と外部γ線バックグラウンドの見積り

暗黒物質やその他の放射線に対して検出器がどのように応答するかを知るのには、モンテカルロシミュレーション (MC) という手法を用いる。Geant4 を基に作成した XMASS の MC では、液体キセノンの吸収長、散乱長などがパラメータとして含まれている。これは、これらの値を検出器中で測定することが難しいためである。したがって、これらのパラメータを較正データを用いて決定しなければならない。申請者は外部較正のデータを用いてこのチューニングを行った。チューニングには、検出器外の線源由来のγ線が液体キセノンに入り込み、キセノン中心部に再構成される事象を用いた。これらの事象は稀にしか起こらないため、非常に多くの統計量が必要になる。しかし XMASS の MC は検出器の詳細な部分まで忠実に再現しているため、プロセスに時間がかかる。申請者は MC の高速化を行うことにより大統計の MC データを作成した。また、チューニングによって正確にγ線の応答を再現するようになった MC を用いて、検出器に含まれる放射性同位体からのγ線の影響を評価した。

PMT → 100keV

3. これからの研究計画

(1) 研究の背景

2. で述べた研究状況を踏まえ、これからの研究計画の背景、問題点、解決すべき点、着想に至った経緯等について参考文献を挙げて記入してください。

暗黒物質の信号は季節変動する。これは暗黒物質の強力な証拠となる。既に、DAMA/NaI 実験とそれをアップグレードした DAMA/LIBRA 実験では、暗黒物質の季節変動を発見したと主張している。しかしその結果から導かれる暗黒物質の質量と散乱断面積の存在領域は、LUX 実験などの結果と矛盾している。ただし LUX などは探索手法に季節変動を用いておらず、DAMA 実験の結果を完全に反証するには至っていない。DAMA では $???$ kg の NaI 検出器を $???$ 年間運転した大統計のデータがあり、これと同等の統計量を得るには同等かそれ以上の質量の検出器を用いるしかない。835 kg の液体キセノンを用いた世界最大の暗黒物質検出器である XMASS 検出器は $???$ 年でこれと同等の統計量を得られるため、この問題に決着をつけるのに最適な検出器である。申請者はこの特長を活かし、申請者の考案した外部校正装置によって系統誤差を最大限に小さく抑えて暗黒物質の季節変動探索を行う。

参考文献

[1] 寺村輝夫、「ぼくは王様 - ぞうのたまごのたまごやき」.



図 2: 暗黒物質の季節変動

(2) 研究目的・内容 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください。)

- ① 研究目的、研究方法、研究内容について記述してください。
- ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、具体的に記入してください。
- ③ 共同研究の場合には、申請者が担当する部分を明らかにしてください。
- ④ 研究計画の期間中に異なった研究機関（外国の研究機関等を含む。）において研究に従事することを予定している場合はその旨を記載してください。

検出器への影響を最小限にし、暗黒物質の測定時間を減らさないよう、超新星爆発、シフトの負担を減らすなどの目的のために、データは短い時間で取得することが望ましい。現在の XMASS 検出器では、フラッシュADC のデータを 100 Hz で取得できる。

トリガーの開発

DAQ のアップグレード

一相式は高いレートに耐えられる

季節変動への impact

低エネルギーの rate

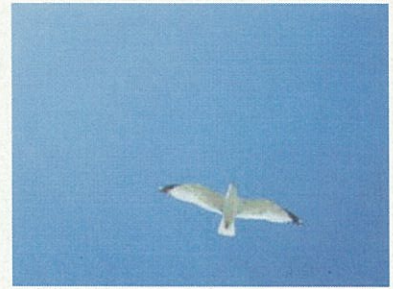


図 3: カモメ

9

2. 現在までの研究状況 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください。様式の変更・追加は不可(以下同様))

- ① これまでの研究の背景、問題点、解決方策、研究目的、研究方法、特色と独創的な点について当該分野の重要文献を挙げて記述してください。
- ② 申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果について、問題点を含め①で記載したことと関連づけて説明してください。
 なお、これまでの研究結果を論文あるいは学会等で発表している場合には、申請者が担当した部分を明らかにして、それらの内容を記述してください。

① これまでの研究の背景、問題点、解決方策、研究目的、方法、特色と独創的な点

申請者はこれまで2年間、XMASS実験に参加し暗黒物質探索を行ってきた。暗黒物質は全宇宙のエネルギーの約27%を占めていると考えられていて、原子からできている通常の物質の5倍も多く存在しているにも関わらず、重力相互作用をするという以外にその性質が分かっておらず、これを明らかにすることは宇宙物理学において非常に重要な課題である。暗黒物質の正体については様々な候補があるが、Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) と呼ばれる素粒子であるという考えが有力である。XMASS実験はこのWIMPsを直接検出し 世界で初めて暗黒物質を発見することを目的としている。XMASS検出器は次のような設計になっている。検出器を運転するには、その検出器の特性を知るための較正が必ず必要になる。XMASSでは従来、液体キセノン中に線源を導入しデータ取得をすることによって検出器較正を行ってきた(内部較正)。しかし内部較正では液体キセノン中に線源を導入するため、検出器の安定性を乱す危険性が大きい。そのため、検出器外側に線源を設置する外部較正を行うことで内部較正の回数を減らすための研究を行った。

② 申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果

○外部較正装置の改良

XMASS実験では主に液体キセノン中に線源を導入する内部較正を定期的に行っていた。しかし線源が液体キセノン中に落下して取り出せなくなる事故が発生するなど、検出器の安定性を損なう危険性が高かった。一方で、液体キセノンの自己遮蔽能力を調べるために外部較正も従来より行われていた。申請者は外部較正が検出器の内部較正の主な目的である液体キセノンの発光量の測定に用いることを着想し、外部較正装置の刷新を行い、この目的に用いることができるよう改良した。改良前と改良後の外部較正装置を図に示す。外部較正によって頻繁に発光量の測定を行うためには、手軽に操作が行えることと、測定の再現性を確保することが必要である。そのため、申請者は図中の細く描かれたチューブを導入した。線源はこの細いチューブの中をフィッシュテープと呼ばれる道具を用いて突き当たるまで送り出す。この仕組はBorexino実験で採用されている較正装置を参考にした。この方式によって毎回同じ場所で線源が固定され、従来の装置では3cm程度であった線源の位置精度が5mm程度にまで改善された。線源の導入についても、従来は必ず2人いなければできず複雑なため一部の共同研究者にしか扱えなかったが、手順を簡略化したことで、今後は毎週異なるシフト作業者が1人で較正作業を行うことができるようになる。これによって毎週欠かさず発光量を測定することができる。

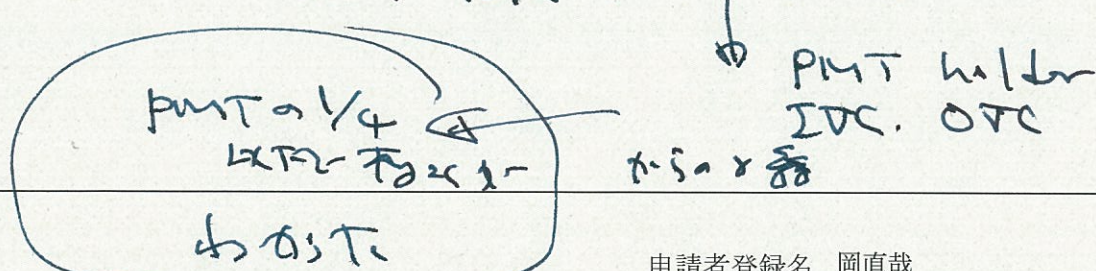


図 1: カモメ

○外部較正データを用いたモンテカルロシミュレーションの改良と外部γ線バックグラウンドの見積り

暗黒物質やその他の放射線に対して検出器がどのように応答するかを知るのには、モンテカルロシミュレーション(MC)という手法を用いる。Geant4を基に作成したXMASSのMCでは、液体キセノンの吸収長、散乱長などがパラメータとして含まれている。これは、これらの値を検出器中で測定することが難しいためである。したがって、これらのパラメータを較正データを用いて決定しなければならない。申請者は外部較正のデータを用いてこのチューニングを行った。チューニングには、検出器外の線源由来のγ線が液体キセノンに入り込み、キセノン中心部に再構成される事象を用いた。これらの事象は稀にしか起こらないため、非常に多くの統計量が必要になる。しかしXMASSのMCは検出器の詳細な部分まで忠実に再現しているため、プロセスに時間がかかる。申請者はMCの高速化を行うことにより大統計のMCデータを作成した。また、チューニングによって正確にγ線の応答を再現するようになったMCを用いて、検出器に含まれる放射性同位体からのγ線の影響を評価した。

今はこの範囲、おいて、EDMは。



申請者登録名 岡直哉

3. これからの研究計画

(1) 研究の背景

2. で述べた研究状況を踏まえ、これからの研究計画の背景、問題点、解決すべき点、着想に至った経緯等について参考文献を挙げて記入してください。

暗黒物質の信号は季節変動する。これは暗黒物質の強力な証拠となる。既に、DAMA/NaI 実験とそれをアップグレードした DAMA/LIBRA 実験では、暗黒物質の季節変動を発見したと主張している。しかしその結果から導かれる暗黒物質の質量と散乱断面積の存在領域は、LUX 実験などの結果と矛盾している。ただし LUX などは探索手法に季節変動を用いておらず、DAMA 実験の結果を完全に反証するには至っていない。DAMA では $???$ kg の NaI 検出器を $???$ 年間運転した大統計のデータがあり、これと同等の統計量を得るには同等かそれ以上の質量の検出器を用いるしかない。835 kg の液体キセノンを用いた世界最大の暗黒物質検出器である XMASS 検出器は $???$ 年でこれと同等の統計量を得られるため、この問題に決着をつけるのに最適な検出器である。申請者はこの特長を活かし、申請者の考案した外部校正装置によって系統誤差を最大限に小さく抑えて暗黒物質の季節変動探索を行う。

参考文献

[1] 寺村輝夫、「ぼくは王様 - ぞうのたまごのたまごやき」.



図 2: 暗黒物質の季節変動

(2) 研究目的・内容 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述してください。)

- ① 研究目的、研究方法、研究内容について記述してください。
- ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、具体的に記入してください。
- ③ 共同研究の場合には、申請者が担当する部分を明らかにしてください。
- ④ 研究計画の期間中に異なった研究機関（外国の研究機関等を含む。）において研究に従事することを予定している場合はその旨を記載してください。

検出器への影響を最小限にし、暗黒物質の測定時間を減らさないよう、超新星爆発、シフトの負担を減らすなどの目的のために、データは短い時間で取得することが望ましい。現在の XMASS 検出器では、フラッシュADC のデータを 100 Hz で取得できる。

トリガーの開発

DAQ のアップグレード

一相式は高いレートに耐えられる



図 3: カモメ

(3) 研究の特色・独創的な点

次の項目について記載してください。

- ① これまでの先行研究等があれば、それらと比較して、本研究の特色、着眼点、独創的な点
- ② 国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ、意義
- ③ 本研究が完成したとき予想されるインパクト及び将来の見通し

1. 先行研究と比した本研究の特色、着眼点、独創的な点

既に述べたように XMASS 検出器は現時点で世界最大の暗黒物質検出器である。したがって期待される暗黒物質事象も最も多い。この特長は暗黒物質の季節変動の探索において重要である。

2. 国内外の関連する研究の中での当該研究の位置付け、意義

3. 先行研究と比した本研究の特色

系統誤差

(4) 年次計画

DC1 申請者は1～3年目、DC2 申請者は1～2年目について、年次毎に記載してください。元の枠に収まっていれば、年次毎の配分は変更して構いません。

(1年目)

初年度は、まず世界の動物園を巡り、象舎に卵が隠されていないか、探す。

(2年目)

博士論文にまとめる

(3年目) (DC 2は記入しないこと)

申請者登録名 岡直哉