

季節変動によるダークマターの探索 (XMASS 実験の最新の結果)

(要旨)

XMASS 実験グループは、2013 年 11 月から 2015 年 3 月までの 1 年 4 ヶ月間のデータを用いて、地球の公転により引き起こされるダークマター信号の季節変動の探索をおこなった。

ダークマターのモデルに依存しない探索において、弱い季節変動の様な効果がみられたが、これが、バックグラウンドデータのふらつきにより生じる確率は 7~17% であり、今のところ有意ではない。

ダークマターの最有力候補と考えられている WIMPs を仮定した解析では、これまで、肯定的な報告している DAMA/LIBRA グループの、季節変動により許容されるほぼすべての質量領域を排除した。DAMA/LIBRA グループの示唆する季節変動そのものを高統計で再探索したのは本実験がはじめてである。

(説明)

ダークマターは、確実に宇宙に存在し、我々の知っている物質の 5~6 倍は存在するとされている。しかしその正体は謎のままである。もっとも期待されている候補は「質量の重い」弱い相互作用をする新しい素粒子 (WIMPs) だと考えられている。しかし、これまで、世界中で行われている探索でもその兆候はあられせず、加速器を用いた探索でもその片鱗すら見えていない。最近では、別の種類の素粒子が、ダークマターではないかとも言われている。

通常の「質量の重い」WIMPs よりも「質量の軽い」弱い相互作用をする素粒子もその一つである。実は、軽い WIMPs ダークマターに関しては、肯定する実験と否定する実験が入り乱れており、過去 10 年以上にわたり混沌とした状態になっている。DAMA/LIBRA 実験は、13 年にわたる観測により、軽いダークマターが示す季節変動を、 9σ 以上で観測したとしている。この実験は 100kg~250kg のヨウ化ナトリウム結晶を用いた検出器であり、観測総量は 1.33 トン・年である。

XMASS 実験装置は、総重量 832kg の液体キセノン検出器であり、1 年間のデータで 0.8 トン・年を達成することができ、また、DAMA/LIBRA のエネルギー閾値 2 keV にくらべて、XMASS 実験の閾値は~1 keV とより低いエネルギー

一領域まで観測できるため、ダークマターの信号への感度は飛躍的に高い。XMASS 実験は初期の運転で見つかったバックグラウンドを低減する措置をした後、2013 年 11 月から再開し、現在も継続してデータをとっている。今回、2015 年 3 月までのデータを用いて、季節変動の有無を探索した。

XMASS 実験の特徴の一つは、WIMPs が起こす原子核反跳の信号を観測できるだけでなく、ある種のダークマターが原子に吸収または散乱され電子を放出する「電子事象」も観測できることである。したがって、季節変動をおこし電子を放出するダークマターに対しても XMASS は広く感度をもつことになる。今回は、このような広く一般的な季節変動の探索と WIMPs モデルを仮定した探索の 2 つをおこなった。

ダークマターに特定モデルを仮定しない探索においては、低エネルギーの領域に弱い季節変動の様な効果がみられた (図 1)。しかし、統計的有意性は $1.4 \sim 1.8\sigma$ であり有意ではない。これが、バックグラウンドデータのふらつきにより生じる確率は $7 \sim 17\%$ である。

ダークマターの最有力候補と考えられている WIMPs を仮定した解析では、WIMPs の質量に対応した反跳原子核のエネルギー分布を束縛条件としている。解析の結果は、これまで、肯定的な報告している DAMA/LIBRA グループの季節変動により許容されるほぼすべての質量領域を排除した (図 2)。DAMA/LIBRA グループの示唆する季節変動そのものを高統計で再探索したのは本実験がはじめてである。

WIMPs の観測量の季節変動は、通常 12 月が最小で 6 月が最大となる。しかし、エネルギー閾値が十分低いと、それに応じて、質量の重い WIMPs では位相が逆転 (最大最小の時期が逆転) する。XMASS 実験の閾値では $\sim 60\text{GeV}$ 以上の WIMPs で位相が逆転する。我々のデータは有意ではないがこの逆転位相に近いものになっている。今回のデータは、WIMPs の質量をおよそ 100GeV と仮定するともっともよく合い、 $2\text{-}3\sigma$ の有意性をもつ。しかしながらこのパラメータでは、期待されるダークマターの全事象頻度が観測された事象頻度を超えるという矛盾を生じ、物理的な解にはなっていない。

まとめると、今回 DAMA/LIBRA グループの示唆した季節変動はほぼ排除した。しかし、我々のデータには、低エネルギーの領域に季節変動の様な効果が、いまのところ、有意ではないが見えている。したがって、今後、さらなるデー

タの蓄積、系統誤差の低減をおこない、研究をさらに継続してゆく必要がある。

これらの結果は、9月7日からよりトリノで開催される TAUP2015 で発表される。

XMASS 実験は、東京大学宇宙線研究所、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構、神戸大学物理学教室、東海大学物理学教室、岐阜大学情報メディアセンター、横浜国立大学物理学教室、宮城教育大学、名古屋大学 STE 研、名古屋大学 KMI、徳島大学物理学教室、Center for Underground Physics, Institute for Basic science, Korea、 Korea Research Institute of Standards and Science, Department of Physic, Korea の共同実験であり、東京大学宇宙線研究所の神岡宇宙素粒子研究施設の地下共同利用実験として実施されている。

平成 27 年 9 月 7 日

XMASS 実験代表者

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構
鈴木洋一郎

東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設長
中畑雅行

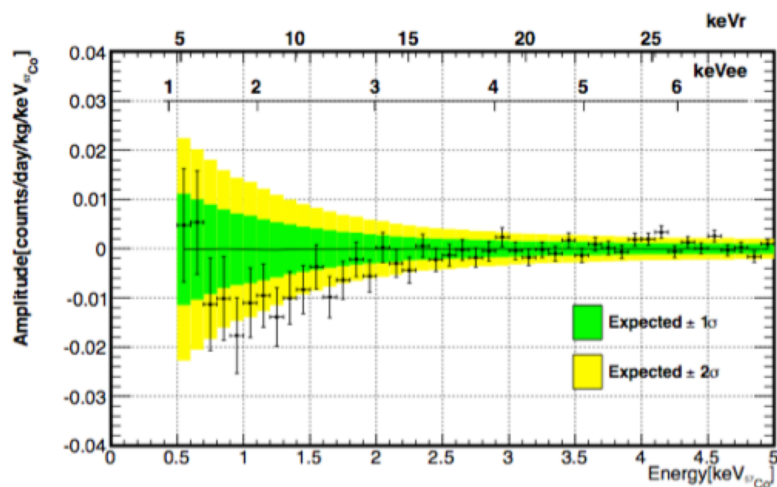


図 1. データ点はエネルギー（横軸）の関数として季節変動の大きさ（縦軸）の観測値を示す。ここでは、細かい説明を省くが、 keVee の軸が電子事象換算のエネルギーを示す。緑(1σ)、黄色(2σ)の帯は、信号のない場合のバックグラウンドの変動の範囲を示す。

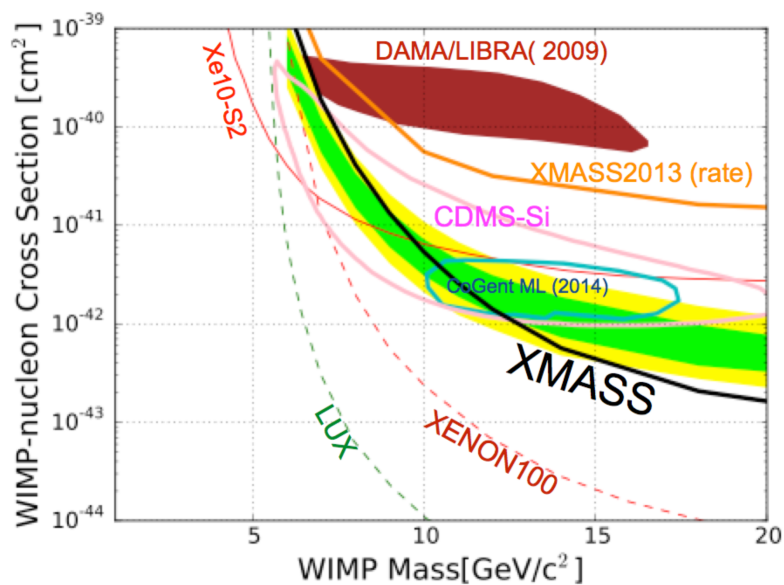


図 2. WIMP-核子散乱断面積のこれまでの実験結果との比較。XMASS と表記した黒実線が今回季節変動の解析により実際に得られた 90%信頼度での上限。緑(1σ)、黄色(2σ)の帯は今回の統計量から予想された上限に対する感度。