

平成 27 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：液体キセノンを用いた暗黒物質探索

英文：A Search for Dark Matter using Liquid Xenon Detector

研究代表者 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構特任教授・鈴木洋一郎

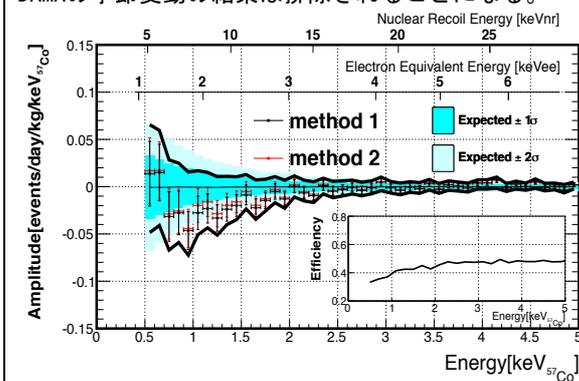
参加研究者 カブリ数物・Kai Martens, Benda Xu; 宇宙線研究所・中畑雅行, 森山茂栄, 岸本康宏, 山下雅樹, 竹田敦, 安部航, 関谷洋之, 小川洋, 小林兼好, 平出克己, Yang Byeongsu, 高知尾理, 小林雅俊, 乗田貴之; 名古屋大学・伊藤好孝, 増田公明, 瀧谷寛樹, 毛笠莉沙子; 神戸大学・竹内康雄, 身内賢太郎, 細川佳志, 岡直哉, 藤田黎; 横浜国立大学・中村正吾; 宮城教育大学・福田善之; 東海大学・西嶋恭司, 宮坂美香, 加藤新太郎; 徳島大学・伏見賢太郎; IBS Korea・Yeongduk Kim, Nam-Young Kim, Yong-Hamb Kim; KRISS Korea・Min Kyu Lee, Kyong Beom Lee

研究成果概要

平成 27 年度は、低質量ダークマターの季節変動の結果や、2重電子捕獲の研究など重要な成果をあげた。低質量のWIMPs領域では、DAMAグループから10年以上にわたる観測データで、季節変動を観測したという報告がある。最新の報告によると、その統計的有意度は 8σ 以上である。しかし、それらがWIMPsダークマターであるとする、他の実験によりすでに排除されていることになる。DAMA以外にもその領域には肯定的なデータもあり混沌とした状況である。WIMPsの可能性は少ないが、 e/γ の信号を出すダークマターなど、WIMPs以外の可能性もあり、多様な観測手段により、季節変動の有無の検証をする必要がある。XMASSは、WIMPsにも e/γ 信号にも感度があり、また大質量測定器であるので季節変動の探索に向いている。

2013年11月から2015年3月までの1年あまりのデータを用いて、季節変動の探索をおこなった。探索エネルギー領域は、低質量ダークマターを狙うため1keVeeから7keVeeと低い。DAMAの閾値は2keVeeである。XMASSは、閾値がより低いので感度が高い。そのエネルギー領域においては、バックグラウンドを含む観測事象は、DAMAのrateとほぼおなじである。Exposureは、DAMAが過去13年間で、1.33トン・年であり、XMASS1年間のデータで、0.8トン・年であり、同程度である。

ダークマターのモデルを仮定しない解析の結果は左図に示すとおりである。2つの独立な解析方法を用いており、その結果は良く一致している。若干の季節変動が見られており、しかも通常期待される位相とは逆である。ただし、p-valueは、2つの解析から、0.061、0.17と得られており、統計的に有意ではないが、今後、高統計・高精度なデータが必要である。この結果を、直接DAMAのrateと比較すると、DAMAの季節変動の結果は排除されることになる。



さらに、ダークマターをWIMPsと仮定して、それぞれの質量に対して、期待されるエネルギースペクトルの制約を加えて、季節変動の探索も行った。結果は、彼らの許容領域をほぼ排除するものとなった。より統計的に強い証拠とするには、さらなる継続的観測が必要である。

^{124}Xe は2重電子捕獲を起こす。ニュートリノの質量に関連するのは、2重ベータ崩壊の場合と同様、ニュートリノを出さないprocessである。しかし、 $2\nu 2e$ 重電子捕獲の予想寿命は 10^{20} 年から 10^{24} 年と観測可能な範囲にある。信号は2線+オージェ電子であり、全エネルギーは63.6k

eVとなる。このenergy領域では、事象のvertexやenergyの再構成がきちりでき、バックグラウンドの除去が効率よく行われる。結果は、132日のデータで、41kg有効質量内に5事象残り、これにより、寿命の下限として、 4.7×10^{21} 年 (90% C.L.) が得られた。将来の感度向上が期待される。さらに、この残った5事象は、 214Pb からきていることが明らかになり、この領域でバックグラウンドが良く理解された。将来のバックグラウンドの改善方向が明確に示された。

以下、過去3年間の論文を示す。

“Direct dark matter search by annual modulation in XMASS-I”
K. Abe et al. (XMASS Collaboration), submitted for publication

“Search for two neutrino double electron capture on 124Xe with the XMASS-I detector”
K. Abe et al. (XMASS Collaboration), submitted for publication

“Search for Bosonic Superweakly Interacting Massive Dark Matter Particles with the XMASS-I Detector”
K. Abe et al. (XMASS Collaboration), Phys. Rev. Lett. 113, 121301 (2014).

“Search for inelastic WIMP nucleon scattering on ^{129}Xe in data from the XMASS-I experiment”
H. Uchida et al., Prog. Theor. Exp. Phys. (2014) 063C01.

“XMASS Detector”
K. Abe et al., Nucl. Instr. and Method in Phys. Res. A716(2013)78.

“Search for solar axions in XMASS, a large liquid-xenon detector”
K. Abe et al., Phys. Lett. B724(2013)46.

“Light WIMP search in XMASS”
K. Abe et al., Phys. Lett. **B719(2013)78.**

整理番号 B01