

平成 29 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ニュートリノ物理の研究

英文：Study on neutrino physics using liquid xenon

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・特任助教・平出克樹

参加研究者

研究成果概要

本研究は、大型液体キセノン検出器 XMASS を用いたニュートリノの物理、特にニュートリノ原子核コヒーレント弾性散乱を用いた超新星ニュートリノの観測および多角的アプローチによるキセノン二重ベータ崩壊の探索を目的とする。

平成 29 年度は、まず ^{124}Xe のニュートリノを伴う二重電子捕獲の高感度探索を行った。二重電子捕獲は 2 つの軌道電子を同時に捕獲する原子核の壊変モードで、2 つのニュートリノを放出するモードは素粒子の標準理論で予言されている現象であるが、 ^{124}Xe に関してこれまで観測されていない。ニュートリノを伴うモードを観測することで、原子核行列要素の計算精度の向上につながると期待されている。 ^{124}Xe のニュートリノを伴う二重電子捕獲の探索では、エネルギースペクトルの中で 63 keV 付近のピークを探すことになる。XMASS では、これまでに検出器改修前の 132 日分のデータを用いて、半減期に対して $T_{1/2} > 4.7 \times 10^{21}$ 年 (90%信頼度) という世界一厳しい制限をつけてきた。

今回の解析では、検出器改修後の 2013 年 11 月から 2016 年 7 月までに取得した 800 日分のデータを用いることで、前回の解析に比べデータ量を 6 倍、有効体積を 8 倍に拡張した。また、液体キセノンのシンチレーション発光時間プロファイルの違いを利用した信号と β 線バックグラウンドの識別アルゴリズムを開発し、探索の高感度化を実現した。探索の結果、有意な信号は観測されなかったため、半減期に対して $T_{1/2} > 2.1 \times 10^{22}$ 年 (90%信頼度) というさらに厳しい制限をつけた。また、 ^{126}Xe についても同様にして $T_{1/2} > 1.9 \times 10^{22}$ 年 (90%信頼度) という制限をつけた。最近、この結果が PTEP 誌に掲載されることが決まった。

また、本研究では、ニュートリノが原子核中の全核子とコヒーレントに反応する、コヒーレント弾性散乱による原子核の反跳を捉えることで超新星ニュートリノの観測を目指している。この反応は全てのフレーバーのニュートリノに感度があるため、Super-Kamiokande や KamLAND といった大型ニュートリノ検出器での観測と合わせれば、超新星爆発に関するより多くの情報が引き出せると考えられる。さらには、様々な天体起源のニュートリノやエキゾチック粒子などの探索にも力を入れてきた。

平成 29 年度は、超新星ニュートリノの観測を目指して定常観測を続けながら、重力波イベントに同期したイベントバーストの探索を行ってきた。モデルに依存しない解析として、データを4つのエネルギー領域に分け、それぞれの領域においてコインシデンス窓をスライドさせながらバーストの探索を行ったが、重力波イベントの時刻から [-400,+10000]秒の範囲では有意なイベントバーストは観測されなかった。また、ニュートリノ・原子核コヒーレント弾性散乱を仮定して、ニュートリノ束に対する上限値を求めた。現在、重力波イベントに同期したイベントバーストの探索結果について論文にまとめているところである。

研究成果発表

- K. Abe et al. (XMASS Collaboration), “Improved search for two-neutrino double electron capture on ^{124}Xe and ^{126}Xe in XMASS-I,” arXiv: 1801.03251 [nucl-ex], accepted by Prog. Theor. Exp. Phys.
- 平出克樹, “XMASS 実験: 重力波イベントに同期したイベントバーストの探索,” 日本物理学会 第 73 回年次大会, 2018 年 3 月 22-25 日, 東京理科大学野田キャンパス.
- K. Hiraide, “Galactic supernova neutrino observation with XMASS,” poster presentation, The Unification and Development of the Neutrino Science Frontier, March 5-6, 2018, Kyoto University.
- 平出克樹, “XMASS,” 新学術「地下素核研究」第 4 回超新星ニュートリノ研究会, 2018 年 1 月 8-9 日, 神奈川県箱根町.
- 平出克樹, “XMASS 実験: 粒子識別を用いた ^{124}Xe 二重電子捕獲の高感度探索,” 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 12-15 日, 宇都宮大学峰キャンパス.
- K. Hiraide, “Sensitive search for double electron capture on ^{124}Xe in XMASS,” XV International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2017), July 24-28, 2017, Sudbury, Canada.
- K. Hiraide, “Recent results from XMASS,” The 26th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (WIN2017), June 19-24, 2017, Irvine, USA.