



研究課題名 ニュートリノ観測装置カムランドを用いたニュートリノレス二重β崩壊の研究

東北大学・大学院理学研究科・教授 井上 邦雄 (いのうえ くにお)

研究分野：数物系科学、物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）

【研究の背景・目的】

ニュートリノ振動研究がニュートリノの質量 2 乗差を測定したことによって、質量絶対値測定のための具体的な目標設定が可能になった。最も高感度で質量絶対値を探索できるニュートリノレス二重β崩壊を用いた手法は、同時にニュートリノのマヨラナ性（ニュートリノと反ニュートリノが同一）を検証することができる。二重β崩壊は、原子核間の準位により単発のβ崩壊は禁止されるが 2 つ同時なら許容されるときに発現し、マヨラナニュートリノの場合は一方が放出した反ニュートリノを他方がニュートリノとして吸収することで、本来なら 2 つ放出される反ニュートリノが放出されないニュートリノレス二重β崩壊を引き起こす。ニュートリノがエネルギーを持ち出さないため特徴的な高エネルギー事象として観測されるこの事象の発生確率はニュートリノ質量の 2 乗に比例し、その頻度からニュートリノ質量の絶対値を知ることができる。当面の目標である質量の縮退構造（3 種類のニュートリノの質量が近接して比較的重い）を検証するには、100kg 超の二重β崩壊核を使用し、非常に長い半減期の希な現象を探索しなければならない。世界では 2011 から 2013 年開始予定の大型計画が進行しており、国内でもそれらと競合し凌駕できる計画が期待されており、いかに大量の二重β崩壊核を低バックグラウンドで観測できるかが課題となっていた。

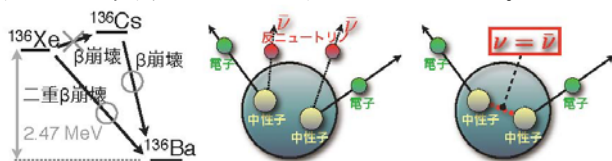


図 1 二重β崩壊核例（左）および通常二重β崩壊（中）とニュートリノレス崩壊（右）

【研究の方法】

ニュートリノ観測装置は一般に大型であり、中でも特にカムランド実験は通常よりも放射性不純物が 1 兆分の 1 も少ない極低放射能環境を実現している。二重β崩壊核のひとつであるキセノン 136 は希ガスであるため、純化が容易であり液体シンチレータに 3%まで溶かすことができる。他にもニュートリノを伴う通常の二重β崩壊の寿命が長いなどのメリットがある。本研究は、200kg のキセノン 136 を溶かした液体シンチレータを半径 1.35m のバルーンに内包しカムランド中心に設置する。既存のカムランドを使用するため迅速かつ低コストに世界最先端の感度を実現できる。

このバルーンが占める体積は 1000 トンの液体シンチレータを有するカムランドでは 1%にも満たず、ニュートリノ観測も継続できるとともに、キセノン量を 1000kg に増量するなどによって、逆階層構造の検証も可能となる拡張性を有している。

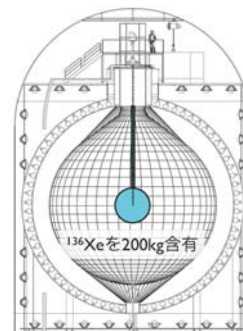


図 2 カムランド実験装置

【期待される成果と意義】

ニュートリノレス二重β崩壊を検出できれば、ニュートリノの質量構造を決定することができ、マヨラナニュートリノの確証を得ることができる。これは、素粒子標準理論のほころびとして知られる宇宙の物質優勢や軽いニュートリノ質量を説明するシーソー機構やレプトジェネシス理論の根拠となり、物質の起源や力の統一そして宇宙の統一的理解を目標とする素粒子・宇宙研究を飛躍的に進展させる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Precision Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with KamLAND”, The KamLAND Collaboration (S. Abe et al.), Phys.Rev.Lett.100:221803, 2008.
- “Experimental Investigation of Geologically Produced Anti-neutrinos with KamLAND”, The KamLAND Collaboration (T. Araki et al.), Nature 436:499-503, 2005.
- “Measurement of Neutrino Oscillation with KamLAND: Evidence of Spectral Distortion”, The KamLAND Collaboration (T.Araki et al.), Phys.Rev.Lett.94:081801, 2005.
- “First Results from KamLAND: Evidence for Reactor Anti-neutrino Disappearance”, The KamLAND Collaboration (K. Eguchi et al.), Phys.Rev.Lett.90:021802, 2003.

【研究期間と研究経費】

平成 21 年度 - 25 年度

605,900 千円

ホームページ等

<http://www.awa.tohoku.ac.jp/>