

48Caの2重ベータ崩壊の研究 Study of Double beta decay 48Ca

岸本 忠史 (KISHIMOTO Tadafumi)

大阪大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

ニュートリノを放出しない2重ベータ崩壊が観測されると、ニュートリノが粒子から反粒子に転換できるマヨラナ粒子であることが証明される。つまり粒子数が保存しないことになり、宇宙がなぜ物質だけの（反物質がない）世界となっているかを物理法則で説明するには、この研究が鍵となる。この半減期からニュートリノの質量も決定できる。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・核・宇宙

キーワード：(B)核物理、(E)粒子測定技術、(F)宇宙物理

1. 研究開始当初の背景・動機

ニュートリノ振動の実験で、ニュートリノの種の中に質量の差があることと、種が混合している事が明らかになった。つまりニュートリノはそれまで信じられていた質量が0の粒子ではなく、有限の質量を持つ粒子であることが判明した。中性のニュートリノは粒子と反粒子を結ぶ形の質量をもつマヨラナ粒子である可能性が現実味を帯びて来る。そうなれば宇宙が物質だけの世界であることも証明できる。これは是非とも確認しなければならない可能性である。

2. 研究の目的

ニュートリノのマヨラナ質量に対する最高感度は ^{76}Ge を用いるHDM実験が達成している。有限の値として0.4 eVを観測したとの報告があるが、疑問が呈され承認されていない。それと同程度の領域を探索し、更に先を探索する開発を行う。

3. 研究の方法

大量の高純度 CaF_2 結晶を用意し、その中に含まれる ^{48}Ca の2重ベータ崩壊からの電子が結晶中でシンチレーション光に変換され、それを周りの光電子増倍管(PMT)で検出するCANDLES検出器を建設する。非常に稀な現象であるため、自然放射能由来のバックグラウンド(BG)を十分に低減することが重要である。地上のプロトタイプ装置でテストした後、地下実験室で長期にわたって安定的に測定する必要がある。

4. これまでの成果

(1) CANDLES IIIの建設。

^{48}Ca の二重ベータ崩壊を研究するための測定装置であるCANDLES IIIを大阪大学理学部の原子核実験施設に建設した(図1左上)。CANDLES IIIでは2種類のシンチレータ(^{48}Ca を含む CaF_2 結晶200 kg・ベーター用液体シンチレータ)をアクリルベッセル中に内包し(図1右上)、それらのシンチレーション光を検出する大口径PMT40本(図1下)とともに純水で満たされた直径2.8 m高さ2.6 mのタンク内に設置している。



図1 CANDLES III装置写真

(2) BG の低減

二重ベータ崩壊のような稀現象の研究においては検出器内外からの自然放射性不純物に起因する BG の低減が重要な鍵を握る。CANDLES 装置においては CaF_2 結晶とベト用液体シンチレータの組み合わせにより外部からの BG を十分に低減するとともに CaF_2 結晶を純化することによって低 BG 化を図った。結晶・材料メーカーとの共同研究により要求されるレベルよりも十分に低い結晶の製作に成功した。

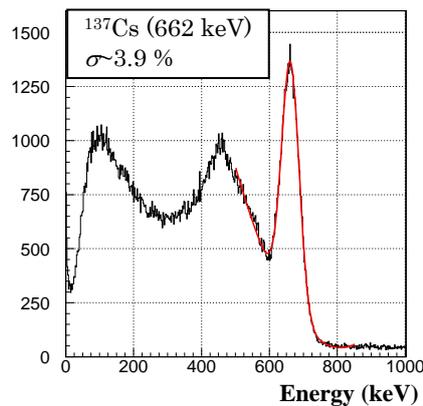
(3) PMT・測定回路

上記に加え、さらに信号処理や解析段階での低 BG 化を進めるため、専用の大口径 PMT とそれに続く信号処理回路 (Flash ADC) の開発・導入を進めている。PMT に関しては全数の導入・試験が終わり、信号処理回路はプロトタイプの開発・試験が終わり、当初の計画通りの性能が発揮できることを確認した。

(4) CANDLES III の性能測定

以上の開発を行った CANDLES III の性能測定を行っている。特に低 BG 化において重要なエネルギー分解能 (図 2)・位置分解能について測定を行い、十分な性能が出ていることを確認した。

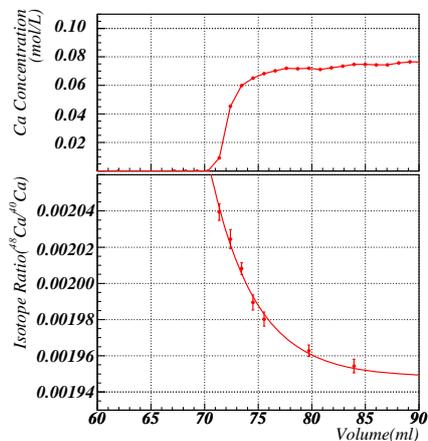
図 2
エネルギー
分解能の
測定



(5) ^{48}Ca の同位体濃縮

^{48}Ca を増量すべく同位体濃縮の研究に着手した。(図 3)

図 3
 ^{48}Ca 濃縮
テストの
結果。
上図：
Ca 濃度
下図：
同位体比



(5) 地下実験用装置 (III 地下) の設計
宇宙線起因の BG を低減するため、本測定は地下実験室で行う必要がある。東大宇宙線研神岡の新実験室の共同利用が認められた。地上での性能測定結果を基にシミュレーションなどを利用しながら、地下用装置の設計を進めている。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

(1) 進捗状況

CaF_2 結晶の低 BG 化など装置の開発については当初の想定よりも進んでいる。一方、地下実験室への移設は遅れている。

(2) 今後の計画

新実験室完成 (H20 年度後半の予定) まで、地上での装置を用いて予備測定を精力的に行う。実験室の掘削は終了したが、実験室として整備にもう少し時間がかかる。装置が長期にわたって安定して性能を発揮できるかの試験も行う。これらの評価・試験を基により高性能の地下実験用装置の設計を進めるとともに、(BG の面では不利ではあるが) 地上での二重ベータ崩壊測定も行う。

地下実験室完成後は上記の設計を基に III 地下の製作を行い、必要な動作試験の後、本測定に入る。半年程度の測定により ^{48}Ca の半減期に対して世界で最も厳しい値を得る。その後の数年間にわたる測定によって、ニュートリノのマヨラナ質量で 0.4 eV 領域における探索実験を行う。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1) 「2重ベータ崩壊と CANDLES 実験」

岸本忠史・小川泉・梅原さおり・平野祥之、原子核研究、**51**, 36-48 (2007)

2) “Challenge on ^{48}Ca enrichment for CANDLES double beta decay experiment”

R. Hazama, Y. Tatewaki, **T. Kishimoto**, K. Matsuoka, Y. Shibahara and M. Tanimizu, Proc. of 6th Recontres du Vietnam (Challenges in Particle Astrophysics), August 6-12, (2006) Hanoi, Vietnam, in press

3) 「二重ベータ崩壊と CANDLES 実験」

岸本忠史、高エネルギーニュース、**24**, 182 (2005)

4) “CANDLES for double beta decay of ^{48}Ca ”

S. Umehara, **T. Kishimoto**, I. Ogawa et al., J. of Phys.: Conf. Series, **39**, 356 (2005)

ホームページ等

http://wwwkkm.phys.sci.osaka-u.ac.jp/info/syoukai/CANDLES_project.htm