

平成 22 年 6 月 25 日現在

研究種目：基盤研究(S)
 研究期間：2005 年～2008 年
 課題番号：17104003
 研究課題名（和文） 48Ca の 2 重ベータ崩壊の研究
 研究課題名（英文） Study of 48Ca Double beta decay

研究代表者

岸本 忠史 (TADAFUMI KISHIMOTO)
 大阪大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：90134808

研究成果の概要：

ニュートリノのマヨラナ性を検証すべく、⁴⁸Ca のニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊を探索する装置、CANDLES III (U. G.) の建設を神岡地下実験施設にて行った。大阪大学（地上）に建設したプロトタイプ装置を用いて性能評価を行い、特にバックグラウンドの低減・エネルギー分解能の向上に関して、要求される性能が得られることを示した。また、将来のさらなる感度向上につながる ⁴⁸Ca の低コストの同位体濃縮研究にも着手し、わずかではあるが、実験室レベルでの濃縮に成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	35,500,000	10,650,000	46,150,000
2006 年度	23,400,000	7,020,000	30,420,000
2007 年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2008 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
年度			
総計	78,100,000	23,430,000	101,530,000

研究分野：原子核・素粒子実験

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ニュートリノ・二重ベータ崩壊・マヨナラ質量・粒子数非保存・

極低バックグラウンド・シンチレーション光・地下実験室・同位体濃縮

1. 研究開始当初の背景

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 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

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 ⁷⁶Ge 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

(主な購入設備等を含む)

大量の高純度 CaF_2 結晶を用意し、その中に含まれる ^{48}Ca の二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. 研究成果

(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・ベト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 PMT 40 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 結晶とベト用の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 (U, Th で $100 \cdot \text{Bq/kg}$ 以下) よりも十分に低い (平均 $20 \sim 30 \cdot \text{Bq/kg}$) 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 (図 3) について測定を行った。

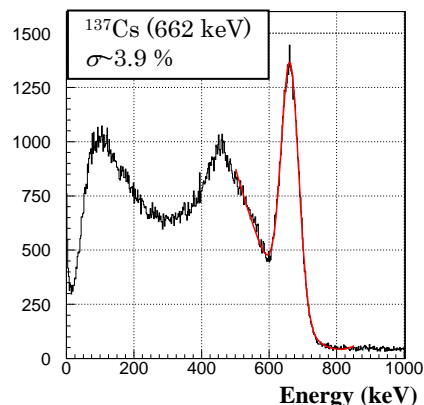


図 2 エネルギー分解能の測定

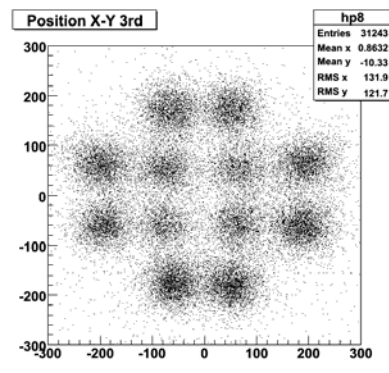


図 3 位置分解能の測定

これらの結果は本二重ベータ崩壊研究での目標感度に十分な値であることを示している。

(5) 地下実験用装置 (III (U.G.)) の設計・建設

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行い、実際に建設を開始した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

以下 全て査読あり

- ① S. Umehara, T. Kishimoto, I. Ogawa et al. (員数16) : “Neutrino-less double- β decay of ^{48}Ca studied by $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ Scintillators”, PHYSICAL REVIEW C, 78: 058501(1-4), 2008
- ② M. Ukai, S. Ajimura (2番目), T. Kishimoto(13番目/員数33): “Gamma-ray spectroscopy of $^{16}\Lambda^0$ and $^{15}\Lambda\text{N}$ hypernuclei via the $^{16}\text{O}(K^-, \pi - \gamma)$ reaction”, PHYSICAL REVIEW C, 77: 054315(1-20), 2008
- ③ I. Ogawa; “Study of ^{48}Ca double beta decay with CANDLES”, Nuclear Physics A (Proc. International Nuclear Physics Conference), 805:24-26, 2008
- ④ Y. Hirano, T. Kishimoto, I. Ogawa, et al. (員数 10) “Study of ^{48}Ca double beta decay with CANDLES”, Journal of Physics: Conference Series, 120: 052053, 2008
- ⑤ G. Ito, T. Kishimoto, I. Ogawa, Et al. (員数 9); “Study of the design for the CANDLES trigger system”, Journal of Physics: Conference Series, 120: 052061, 2008
- ⑥ I. Ogawa; “Dark matter search with CaF_2 scintillator at Osaka”, Journal of Physics: Conference Series, 120: 042019
- ⑦ S. Yoshida, T. Kishimoto, I. Ogawa, et al. (員数 9); “Ultra-violet wavelength shift for undoped CaF_2 scintillation detector by two phase of liquid scintillator system in CANDLES”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 601:282-293, 2008
- ⑧ 「二重ベータ崩壊と 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)
- ⑨ S. Umehara, T. Kishimoto, I. Ogawa et al. (員数 11); “CANDLES for double beta decay of ^{48}Ca ”, Journal of Physics: Conference Series, 39:356, 2006
- ⑩ M. Ukai, S. Ajimura(2番目), T. Kishimoto(13番目 / 員数 33); “Cascade Gamma Decay in the $7\Lambda\text{Li}$ Hypernucleus”, Physical Review C, 73: 012501-1-5, 2006
- ⑪ C. J. Yoon, T. Kishimoto(24番目/員数 39); “Search for the H-dibaryon resonance in C-12 ($K^-, K^+ \Lambda \Lambda X$).”, Physical Review C, 75: 022201, 2006
- ⑫ S. Yoshida, T. Kishimoto, I. Ogawa(員数 10); “CANDLES project for double beta decay of ^{48}Ca ”, Nuclear Physics B(Proc. Suppl.), 138:pp214, 2006
- ⑬ R. Hazama, Y. Tatewaki, T. Kishimoto, K. Matsuoka, Y. Shibahara and M. Tanimizu; “Challenge on ^{48}Ca enrichment for CANDLES double beta

decay experiment”, Proc. of 6th Recontres du Vietnam (Challenges in Particle Astrophysics), August 6-12, Hanoi, Vietnam, 2006

- ⑭ 岸本忠史; 「二重ベータ崩壊とCANDLES実験」高エネルギーニューズ、24:182, 2005
- ⑮ S. Umehara, T. Kishimoto, I. Ogawa (員数 11); “CANDLES for double beta decay of ^{48}Ca ” J. of Phys.: Conf. Series, 39, 356、2005
- ⑯ S. Yoshida, T. Kishimoto, I. Ogawa(員数 10); “CANDLES project for double beta decay of ^{48}Ca ”, Nuclear Physics B(Proc. Suppl.)138:214, 2005
- ⑰ I. Ogawa, T. Kishimoto (員数 14); “CANDLES FOR THE STUDY OF double beta DECAY OF ^{48}Ca ”, Proc. of the 5th Int. Works. on Neutrino Oscillations and their Origin, pp260, 2005

[学会発表] (計 9 件)

- ① T. Kishimoto; “Kaon-Nucleus Interaction Studied through the In-Flight (K^-, N) Reaction”, International Conference on Particles and Nuclei (PANIC08), Eilat (Israel) 11月13日, 2008
- ② I. Ogawa; “Study of ^{48}Ca double beta decay with CANDLES”, International Conference on Particles and Nuclei (PANIC08), Eilat (Israel) 11月13日, 2008
- ③ T. Kishimoto; “Study of ^{48}Ca Double Beta Decay”, Franco-Japanese Symposium on New Paradigms in Nuclear Physics, Paris, France 9月30日, 2008
- ④ T. Kishimoto; “In flight (K, N) reactions for the study of the kaon-nucleus interaction”, 3rd China-Japan-Korea Hadron and Nuclear Physics 2008 Symposium (HNPO8), Paris(France) 6月25日, 2008
- ⑤ I. Ogawa; “Study of ^{48}Ca double beta decay with CANDLES”, The XXIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Christchurch (New Zealand) 5月28日, 2008
- ⑥ T. Kishimoto; “Study of ^{48}Ca Double Beta Decay by CANDLES”, DUSEL Town Meeting, Washington(USA) 11月3日, 2007
- ⑦ T. Kishimoto; “Double beta-decay at Oto laboratory”, The 3rd Japanese-German EFES(JSPS)-DFG/GSI workshop on Nuclear Structure and

Astrophysics,
Faruenchiensee (Germany) 10月1日、2007

- ⑧ I. Ogawa; “The ELEGANT VI experiment”,
The tenth International Conference on
Topics in Astroparticle and
Underground Physics, Sendai (Japan) 9
月12日、2007
- ⑨ I. Ogawa; “Study of ^{48}Ca double beta
decay with CANDLES”, International
Nuclear Physics Conference,
Tokyo (Japan) 6月5日、2007

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 忠史 (Tadafumi Kishimoto)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：90134808

(2) 研究分担者

小川 泉 (Izumi Ogawa)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：20294142
味村 周平 (Syuuhei Ajimura)
大阪大学 核物理研究センター・准教授
研究者番号：10273575

(3) 連携研究者

なし