

機関番号：14401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ~ 2010

課題番号：21740183

研究課題名 (和文) 二重ベータ崩壊核カルシウム 48 の同位体濃縮

研究課題名 (英文) Isotope Separation of ^{48}Ca Double Beta Decay Nuclei

研究代表者

梅原 さおり (UMEHARA SAORI)

大阪大学・核物理研究センター・助教

研究者番号：10379282

研究成果の概要 (和文)：

二重ベータ崩壊核であり、二重ベータ崩壊測定に大きな利点を持つカルシウム 48 を、クラウンエーテル樹脂を用いた泳動実験により濃縮した。さらに、カルシウム 48 の大量生産に向けてその濃縮効率を評価した。最終的に、クラウンエーテル樹脂を用いた泳動実験によるカルシウム濃縮が、二重ベータ崩壊測定の高感度化に有効であるという結果を得た。

研究成果の概要 (英文)：

Among double beta decay nuclei, ^{48}Ca has an advantage for a double beta decay measurement. Enrichment of ^{48}Ca will further improve sensitivity for a neutrino-less double beta decay measurement. We have studied ^{48}Ca enrichment with chemical isotope separation by using crown ether and obtained enriched ^{48}Ca . This technique will be applied for improvement of sensitivity of a double beta decay detector.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

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：同位体濃縮、二重ベータ崩壊、カルシウム 48

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノ振動実験の結果から、ニュートリノの種類間に質量差があることが確実に。結果として、有効マヨラナニュートリノ質量にして数百 meV から 1eV 程度の上限值を与えている。

一方、我々は、 CaF_2 検出器を用いた ELEGANT VI および CANDLES システムを用いて、 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究を進めてきた。両システムの最大の特徴は、 ^{48}Ca の高い $Q_{\beta\beta}$ 値によって、バックグラウンドイベントのない測定を行うことが可能であることである。先行する ELEGANT VI システム

では、実際にバックグラウンドイベントがない測定を実現し、 ^{48}Ca のニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊に関して世界でもっとも良い感度を実現した。しかし、本システムは、有効マヨラナニュートリノ質量に対しては十分な感度を持たない。それは、 ^{48}Ca 量が少ないためである。

まず我々は、システムの大型化によって ^{48}Ca 量を増やした。これが CANDLES III システムである。このシステムでもって我々は有効マヨラナニュートリノ質量にして 0.5eV の感度を達成し、世界に追いつく結果を出す。さらに続く次世代検出器の感度目標は、ニュートリノが逆順の質量階層構造を持つ場合に予想される有効マヨラナニュートリノ質量 30meV である。他の実験と異なり、低同位体比の二重ベータ崩壊核で測定を進めている CANDLES 計画は、検出器を大型にすることなく濃縮によってのみで、最大 500 倍（有効マヨラナニュートリノ質量にして 20 倍以上）感度をあげることができる。

2. 研究の目的

我々は、有機化合物の一つクラウンエーテルを用い、化学法によって ^{48}Ca の濃縮を行う。このクラウンエーテルは環状の有機化合物で、その環内に金属イオンを吸着するという特徴を持つ。この吸着には同位体効果があるため同位体分離が可能になる。

本研究では、二重ベータ崩壊核である ^{48}Ca を、クラウンエーテル樹脂を用いた泳動実験により同位体濃縮し、大量生産に向けその濃縮効率を評価することを目的とする。必要とされる量 50kg 、同位体比 2% の ^{48}Ca をよりコストパフォーマンスよく準備するために、濃縮手順のパラメータ調査を行い、 ^{48}Ca の大量濃縮の実現性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、濃縮手法の一つ泳動実験のシステムを構築し、泳動実験のパラメータの最適化を行う。最終的に、同位体比 2%、量 50kg の ^{48}Ca の生産の実現性の評価を行う。パラメータの最適化の研究は、下記の手順で行う。

(1) 泳動実験用システム構築：

泳動による同位体効果の大きさの違いを定量的に評価するため、 3m の泳動距離をとれるカラム 3 本を用いた泳動システムを構築する。

(2) 樹脂の違いによる濃縮率の違いの調査：

クラウンエーテルの違いによる濃縮率の違いは、経験的には数倍程度になると予想されている。後の大量生産のため、価格も考慮に入れて濃縮率を評価する。

(3) カルシウム溶液の供給速度：

濃縮 ^{48}Ca の生産効率に比例する。基本測定設定 (0.3ml/分) の 10 倍の供給速度 (3ml/分) までのテストを行い、濃縮率を調べ、生産性を評価する。

また、長距離泳動実験における性能評価も必要である。目指す同位体比 2% の ^{48}Ca を得るためには、 1000m 以上の泳動距離が必要である可能性が高いためである。そのために、下記のテストを行う。

(4) 12 本のカラムを用いた、泳動距離 200m の濃縮テスト：

大量生産では、樹脂を繰り返し使用することになるが、それに備えた樹脂耐久性が要求される。実際に樹脂の繰り返し使用を行ない、耐久性、およびその際の濃縮率の評価を行う。また、長距離泳動における濃縮効率の評価を行う。

4. 研究成果

まず、泳動パラメータの最適化を行うためのシステムを構築した（図 1 参照、研究の方法 (1)）。このシステムは、 1m のガラスカラム 3 本を、テフロンチューブでつなぐことで、泳動距離 3m のテストが行えるようになっている。

次に、このシステムを用いて、各種パラメータ調査を行った。おもな調査項目は、樹脂の違いによる濃縮率（研究の方法 (2)）の調査、カルシウム溶液の供給速度（研究の方法 (3)）の調査である。樹脂の違いによる濃縮



図 1：泳動パラメータの最適化のために使用する泳動システム。 1m のガラスカラム 3 本を、テフロンチューブでつなぎ、泳動距離 3m のテストが行えるようになっている。

率の調査では、樹脂によって濃縮効率の差が3倍以上異なることを突き止め、樹脂の選択には、より注意深く行う必要であることが分かった。また、0.1Mカルシウム溶液の供給速度の調査では、初期の供給速度の3倍にあたる1ml/minの速度が、大量生産には濃縮効率がよく、適していることが分かった。

さらに、大量濃縮に向けたテストとして、12本のカラムを用いた、泳動距離200mの濃縮テスト(研究の方法(4))を行った。まず、200mの泳動テストのために、図2の長距離泳動システムを構築した。このシステムでは、12本のガラスカラムを、テフロンチューブで連結して構築している。このシステムによって、樹脂にカルシウムを吸着させた後、樹脂の洗浄(カルシウムの脱着)を行うという、樹脂再利用のテストを行った。その結果を図3に示す。ここでは、泳動距離は、上:1m、中:20m、下:200mの結果を示している。実験結果から、カルシウム吸着帯の先端溶離液中に、 ^{48}Ca の同位体分離効果を確認することができる。また、200mの泳動実験の結果、得られた同位体比 $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ は、0.00258とこれまでで最高の値を得ることができた。また、200mの泳動テストの結果から、ガラスカラム内の樹脂は、18回の繰り返し使用において、安定的にカルシウムを吸着することができることが明らかとなった。また、吸着したカルシウムに対する濃縮分離係数も安定した結果を得ることができた。これは、大量濃縮に向けた実用的な分離システムを構築するための第一段階の目標を達成している。今後、この結果をもとに、 ^{48}Ca を2%、50kg量で濃縮することが可能な実用的な濃縮システムの設計構築を進めていく。

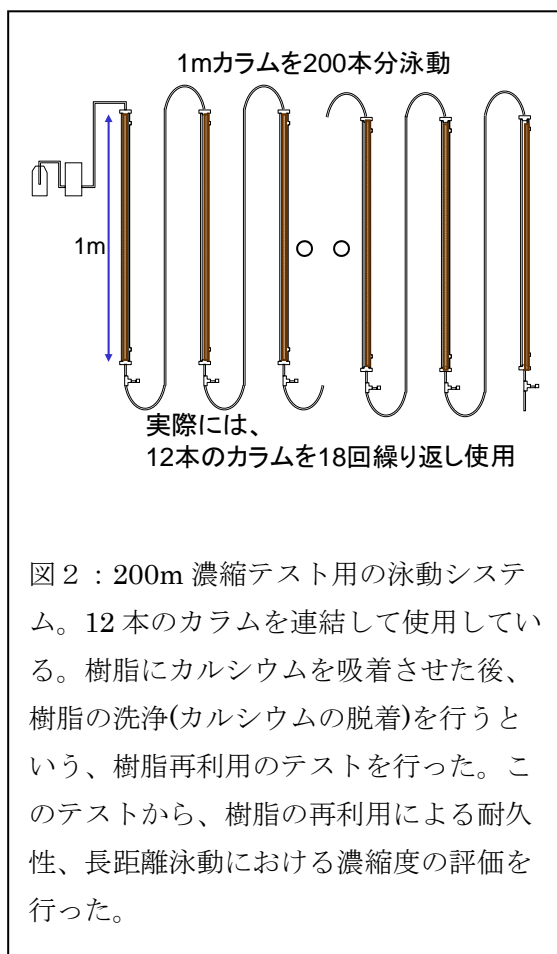


図2: 200m濃縮テスト用の泳動システム。12本のカラムを連結して使用している。樹脂にカルシウムを吸着させた後、樹脂の洗浄(カルシウムの脱着)を行うという、樹脂再利用のテストを行った。このテストから、樹脂の再利用による耐久性、長距離泳動における濃縮度の評価を行った。

ム内の樹脂は、18回の繰り返し使用において、安定的にカルシウムを吸着することができることが明らかとなった。また、吸着したカルシウムに対する濃縮分離係数も安定した結果を得ることができた。これは、大量濃縮に向けた実用的な分離システムを構築するための第一段階の目標を達成している。今後、この結果をもとに、 ^{48}Ca を2%、50kg量で濃縮することが可能な実用的な濃縮システムの設計構築を進めていく。

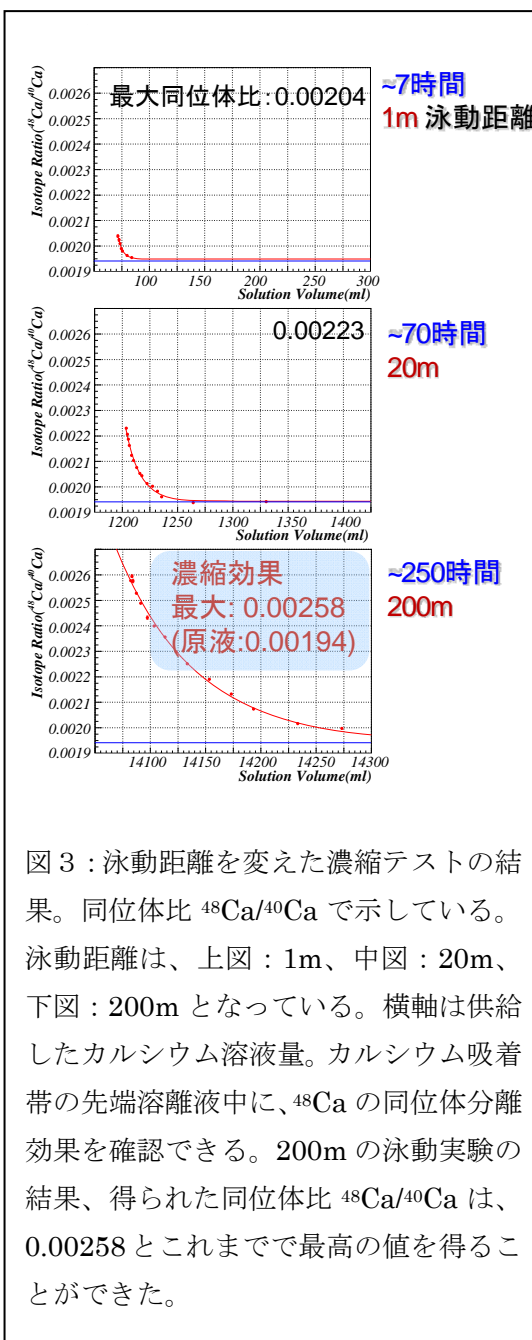


図3: 泳動距離を変えた濃縮テストの結果。同位体比 $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ で示している。泳動距離は、上図: 1m、中図: 20m、下図: 200mとなっている。横軸は供給したカルシウム溶液量。カルシウム吸着帯の先端溶離液中に、 ^{48}Ca の同位体分離効果を確認できる。200mの泳動実験の結果、得られた同位体比 $^{48}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$ は、0.00258とこれまでで最高の値を得ることができた。

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 3 件)

① 著者名: Y. Fujii, S. Umehara. 他
論文標題: Mass dependence of calcium isotope fractionations in crown-ether resin chromatography
雑誌名: Isotopes in Environmental and Health Studies (査読有)
巻数: 46 (2010) 233-241

② 著者名: S. Umehara 他
論文標題: Study of double beta decay of Ca-48 by CANDLES
雑誌名: AIP Conf.Proc. (査読有)
巻数: 1235 (2010) 287-293

③ 著者名: I.Ogawa, S. Umehara 他
論文標題: Study of ^{48}Ca double beta decay with CANDLES
雑誌名: J. Phys. Conf. Ser. (査読有)
巻数: 203(2010)12073(pp3)

[学会発表] (計 6 件)

① 発表者: 梅原さおり
発表標題: CANDLESによる二重ベータ崩壊の研究(44) —地下実験室における検出器の開発状況—
学会名: 日本物理学会 2010 年秋季大会
発表場所: 福岡
発表年月: 2010 年 09 月 14 日

② 発表者: 梅原さおり
発表標題: クラウンエーテル樹脂を用いたカルシウム同位体分離 (5)クロマトグラフィーによる長距離泳動実験
学会名: 日本原子力学会 2010 年春の年会
発表場所: 茨城大学 水戸
発表年月: 2010 年 03 月 26 日

③ 発表者: 梅原さおり
発表標題: CANDLES による二重ベータ崩壊の研究—CANDLES プロジェクトの開発状況—
学会名: 日本物理学会第 65 回年次大会
発表場所: 岡山大学 岡山
発表年月: 2010 年 03 月 21 日

④ 発表者: 梅原さおり
発表標題: クラウンエーテル樹脂を用いたカルシウム同位体分離

学会名: 第 8 回同位体科学研究会
発表場所: 産業総合技術研究所 東京
発表年月: 2010 年 03 月 05 日

⑤ 発表者: Saori Umehara
発表標題: Study of Double Beta Decay of ^{48}Ca with CANDLES
学会名: The 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium
発表場所: Univ. of Tsukuba, Ibaraki
発表年月: 2009 年 11 月 12 日

⑥ 発表者: Saori Umehara
発表標題: Neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca studied by CaF_2 Scintillator
学会名: CTP International Conference On Nuclear Physics in LHC Era
発表場所: Luxor, Egypt
発表年月: 2009 年 11 月 19 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原 さおり (UMEHARA SAORI)
大阪大学・核物理研究センター・助教
研究者番号: 10379282

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者