

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340056

研究課題名(和文)ニュートリノの粒子・反粒子対称性の破れの測定と未来開拓

研究課題名(英文) Measurement of particle-antiparticle symmetry breaking in neutrinos and R&amp;D for the future

研究代表者

塩澤 真人 (SHIOZAWA, Masato)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：70272523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円、(間接経費) 3,330,000円

研究成果の概要(和文)：本計画は、ニュートリノの粒子・反粒子対称性の破れの実験的研究を行い、レプトンの数学的枠組みの理解を深める事を目的にする。具体的には世界最大のニュートリノ振動実験装置スーパーカミオカンデにおける高統計・高精度の大気ニュートリノ観測データを用いて、ニュートリノ振動(飛行中に種類が変わること)と反ニュートリノ振動の違いを調べた。二種類の対称性(CP対称性とCPT対称性)双方に対し有意な破れ、すなわちニュートリノ振動と反ニュートリノ振動に有為な違いは観測されず、実験精度の範囲で対称性が保存されていると結論された。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to understand more about the three flavor framework of lepton particles by experimental tests of particle-antiparticle symmetry violation in neutrinos. We have looked for possible difference between neutrino oscillations and antineutrino oscillations in the atmospheric neutrino data by world largest neutrino oscillation detector Super-Kamiokande. We tested two hypotheses - CP and CPT symmetry violation - and found no evidence of symmetry violation and concluded that both CP and CPT symmetries are conserved within the experimental errors.

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：ニュートリノ CP対称性 CPT対称性 スーパーカミオカンデ 大気ニュートリノ

## 様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

3種類ある素粒子ニュートリノは混ざることが知られており、その混合形式はクォークを説明する小林・益川理論と同じ数学的形式を用いて表現される。この枠組みには四つの実験によって決めるべきパラメータがあるが、そのうちの二つのパラメータの値はまだ測定されずに残っている。中でもニュートリノにおけるCP 対称性の破れ(粒子と反粒子間の非対称性、クォークのCP 対称性破れとは独立)の測定は非常に興味深い実験テーマとなる。例えば物質優勢宇宙(物質が支配的で反物質が少ない)の生成には、このニュートリノのCP 対称性の破れが関連している可能性が高いと考えられている。さらにCP を破る効果では説明がつかない様な、ニュートリノと反ニュートリノの振動確率の違いがもし測定されれば、CPT の破れを示すこととなる。厳密に成り立つとされているCPT 対称性は素粒子標準理論を組み上げる基礎であり、その実験的検証は重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では(1)ニュートリノの粒子と反粒子の対称性の破れの探索と(2)ニュートリノ実験装置のアップグレードの基礎開発、を目的とする。

### 3. 研究の方法

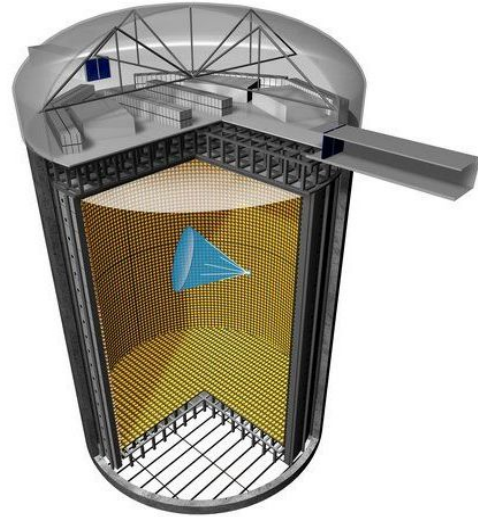
(1)世界最大のニュートリノ・核子崩壊実験装置スーパーカミオカンデで観測される大気ニュートリノデータに含まれるニュートリノと反ニュートリノ反応を用いて、対称性の破れの実験的検証を行う。特にニュートリノと反ニュートリノの特徴を使って二つの分別を行い、感度を向上させ、集めた観測データを全て用いた検証を行う。

(2)一方でニュートリノ・反ニュートリノの反応毎の識別をするために、検出器の集光効率の大幅な改善を目的にした開発研究を行う。

### 4. 研究成果

(1)スーパーカミオカンデ装置は岐阜県飛

騨市の地下約千メートルに設置され、素粒子ニュートリノの検出や陽子崩壊現象を探索する検出器である。5万トンの容積を持つ円



筒形の水槽内に、直径 50cm の一光子検出器約一万本が配置され、水中で反応した飛来ニュートリノから出る微弱な光を光検出器で捉えるものである。

宇宙から飛来する素粒子(宇宙線と呼ばれ、主に陽子から成る)が大気中の原子と衝突することにより生じるニュートリノを大気ニュートリノと呼ぶ。大気ニュートリノは電子型とミュー型ニュートリノ、さらに各々の反ニュートリノが主成分である。

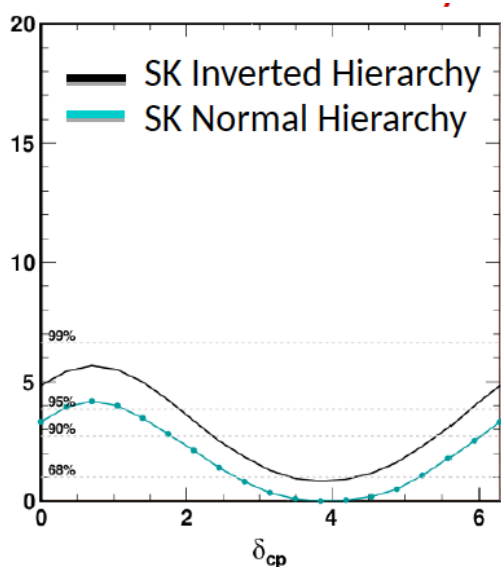
未だ未知の CP 対称性の破れの効果が大きく見えると期待されるのは、電子型ニュートリノである。そこで電子ニュートリノと反電子ニュートリノの分別を行い感度を向上し、またこれまで観測された 4581 日分の全てのデータを用いて得られた結果を次ページの図に示す。図の横軸は CP 対称性の破れのパラメータで 0 から 360 度の角度で表す。縦軸はデータとの合わなさを表したものであり、小さい程良くデータと合っていることを示す。図からわかるように、最もデータを良く説明する CP 対称性の破れのパラメータは 220 度となった。ただし CP 対称性が破れていない(0 度または 180 度の場合)としても矛盾はしない。

(2)ニュートリノ実験装置のアップグレー

ドの基礎開発として、高性能光センサーの開発を行った。光の感度を 30% 程度向上し、さらに光量や時間の測定精度の高い光センサーの実現性を示した。図に示す新型光センサーは左が改良型電子増幅を用いたもの、右が半導体検出器を内蔵したものである。両者共スーパーカミオカンデ実験に用いられている光センサーと同じ直径 50cm の大型センサーである。

#### 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 2件)

塩澤真人、早戸良成、三浦真、中山祥英 他スーパーカミオカンデコラボレーション、Evidence for the Appearance of Atmospheric Tau Neutrinos in Super-Kamiokande, Phys. Rev. Lett. 110, 181802 (2013)、査読有、DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.181802>

塩澤真人 他、Future long-baseline neutrino facilities and detectors, Advances in High Energy Physics Volume 2013 (2013), Article ID 460123、査読有、

DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/460123>

#### [学会発表](計 5件)

塩澤真人、Projects in Japan、Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste、February 23 - March 1, 2014、La Thuile, Italy

塩澤真人、Super-K, T2K, and beyond、2013 年理論懇シンポジウム、December 25, 2013、千葉

塩澤真人、Nucleon Decay Searches、13th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics、September 8-13, 2013、California, USA

塩澤真人、Future Neutrino and Nucleon Decay Program、26th International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies、June 24-29, 2013、San Francisco, USA、

塩澤真人、大気ニュートリノ研究とハイパーカミオカンデ準備研究、ニュートリノフロンティアの融合と進化研究会、April 21, 2013、東京

#### [図書](計 0件)

#### [産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

#### [その他]

ホームページ等

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/index.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

塩澤 真人 (SHIOZAWA, Masato)  
東京大学・宇宙線研究所・准教授  
研究者番号：70272523

(2)研究分担者

早戸 良成 (HAYATO, Yoshinari)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号： 60321535

(3)連携研究者

三浦 真 (MIURA, Makoto)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号： 10272519

中山 祥英 (NAKAYAMA, Shohei)

東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号： 70401289