



Title	CP violation in neutrino system
Author(s)	三浦, 隆裕
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44041
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 み三 うら浦 たか隆 ひろ裕

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 17516 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 15 年 3 月 25 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第1項該当

理学研究科物理学専攻

学 位 論 文 名 CP violation in neutrino system
(ニュートリノ系における CP の破れ)

論 文 審 査 委 員 (主査)
教 授 高杉 英一

(副査)
教 授 東島 清 教 授 細谷 裕 助教授 窪田 高弘
助教授 太田 信義

論 文 内 容 の 要 旨

1998 年、スーパーカミオカンデの大気ニュートリノ測定実験で、ミューニュートリノ、 ν_μ が、タウニュートリノ、 ν_τ との間で振動していることが発見された。そして 2001 年には、スーパーカミオカンデの実験データとスノーの実験を組みあわせることによって、太陽からの電子ニュートリノ、 ν_e が予言値より減少しているのは、 ν_e と ν_μ との間で振動しているのが原因であるということが解明された。また、2002 年には原子炉からくるニュートリノを利用したカムランドの実験で、太陽ニュートリノの振動が確認された。標準模型ではニュートリノは質量がゼロの粒子であるため、ニュートリノ振動は起こらない。したがって、これらの実験によって示されたニュートリノ振動が存在するという事実は標準模型を超えた新しい理論の直接的な証拠である。

この論文では、ニュートリノ系での CP の破れを調べる目的で、ニュートリノ振動における時間反転対称性の破れと、ニュートリノ質量行列に対する量子補正の寄与について議論する。

まず、ニュートリノ振動における時間反転対称性の破れの解析的な表式を導き出した。地上実験ではニュートリノが地球内部を通過するため、地球物質の効果を考慮しなければならない。この効果を取り入れた解析的な式を導出するために、 $\Delta m_{21}^2 L/2E$ と $\delta a(x)L/2E$ という 2 つの小さな量についての摂動計算を行った。ここで、 $\delta a(x)$ とは地球内部の平均密度からのずれ (ゆらぎ) であり、対称なものと非対称なものを含んでいる。また、 Δm_{21}^2 はニュートリノの 1、2 世代間の質量二乗差であり、 L はニュートリノ源と測定機器間の距離、 E はニュートリノのエネルギーである。求めた表式より、測定距離が 6000 km 以下の場合、時間反転対称性の破れには、ゆらぎはほとんど影響しないことが分かった。すなわち、測定距離が 6000 km 以下の場合、地球内部は一定の密度と扱って問題はない。しかしながら、距離が 6000 km を超えると、ゆらぎの影響が大きくなり、特に、7000 km から 7700 km の間ではゆらぎの効果と平均密度からくる寄与が打ち消しあい、時間反転対称性の破れが非常に小さくなる。このことから、長距離 (6000 km 以上) 実験では、ゆらぎの効果をきちんと取り入れなければならないことが分かった。

次に、ニュートリノ質量行列に対する繰り込み群の効果 (量子補正) を考察した。統一模型で与えられる質量行列とわれわれが観測する低いエネルギーでの質量行列は違い、それらは繰り込み群によって関連づけられる。この繰り込み群の効果によって、低いエネルギーでの質量行列や混合角、CP 位相がどのような影響を受けるかを考えた。低

エネルギーでは $|U_{e3}|$ が小さいことがわかっているのに、高エネルギーで $|U_{e3}|=0$ と考えるのが自然である。そこで、高エネルギーで $|U_{e3}|=0$ を与えるニュートリノ質量行列を考察した。この質量行列が与える混合行列は2つの回転角と2つのマヨラナ位相しか持たず、ディラック位相はない。しかし、低エネルギーで、 $|U_{e3}|$ とディラック位相は繰り込み群の効果によって生じ、これらは観測される程度の十分大きな値を持ち、時間反転対称性の破れからディラック位相が観測される可能性があることがわかった。更に、 $\sin^2 2\theta_{12} \leq \sin^2 2\theta_{\text{sol}}$ も示された。ここで $\sin^2 2\theta_{12}$ は高エネルギーでのニュートリノ混合角で、 $\sin^2 2\theta_{\text{sol}}$ は太陽ニュートリノ振動によって決まる値のことである。この不等式によって、ニュートリノ質量行列の模型構築は非常に制限される。なぜなら、 $\sin^2 2\theta_{12}$ の値が $\sin^2 2\theta_{\text{sol}}$ の実験値より大きい値を持つような模型はすべて排除されるためである。最後に、低エネルギーで生じたディラック位相は高エネルギーでのマヨラナ位相から生じることから、将来、実験で測られるディラック位相と leptogenesis に現れるマヨラナ位相との間に関係があることを示唆される。

論文審査の結果の要旨

本論文では、ニュートリノ混合での CP の破れを、実験と理論の両面から総合的に解析している。まず、ニュートリノ工場で行われる T 対称性の破れに地球物質がどのような影響を及ぼすかを詳しく解析し、T 対称性の破れは CP の破れのディラック位相を測定する最も適した実験であることを示した。次に、相互作用が大統一される高いエネルギーでのニュートリノ混合と低エネルギーでのニュートリノ混合の関係を、繰り込み群をもちいて調べた。特に高いエネルギーではディラック CP 位相が存在せずマヨラナ CP 位相のみ存在する模型を考察し、低エネルギーでディラック CP 位相が現れることを示した。高エネルギーでのマヨラナ CP 位相は宇宙のバリオン数の起源と考えられているレプトジェネシスにとって大変重要で、このような模型では、バリオン数生成の原因である CP を破る位相と低エネルギーでの CP を破る位相が関係している可能性があることを示した。この仕事は、博士（理学）の学位論文として十分価値があることを認める。