

Title	Radiative corrections of neutrino mass matrix and lepton flavor violation processes
Author(s)	進藤, 哲央
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45088
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	進藤哲央
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 18378 号
学位授与年月日	平成 16 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	Radiative corrections of neutrino mass matrix and lepton flavor violation processes (ニュートリノ質量行列に対する輻射補正と lepton flavor violation 過程)
論文審査委員	(主査) 教授 高杉 英一 (副査) 教授 東島 清 教授 岸本 忠史 教授 久野 良孝 助教授 窪田 高弘

論文内容の要旨

最近のニュートリノ振動実験によって、ニュートリノの混合行列の様子が分かってきた。大気ニュートリノ実験は 45 度に近い混合角を示唆する。太陽ニュートリノでは、混合角は大きいと 45 度よりは小さい。原子炉ニュートリノ実験から残りの 1 つの混合角は小さいことが分かる。電弱スケールのニュートリノ混合行列は大きな 2 つの混合角を持ち、クォーク混合行列(小林-益川行列)が小混合行列であるのと大きく異なる。ニュートリノの質量自体も、クォークや荷電レプトンの質量と比べて極めて小さい。このようなフレーバー構造の違いは GUT のような、高エネルギースケールの理論に起因すると期待される。

高エネルギースケールのフレーバー理論の探究には、高エネルギースケールでのフレーバー構造を知ることが不可欠である。この際にくりこみ群を用いることは非常に有効である。クォークセクターでは、実験で得られた電弱スケールの質量行列を高エネルギースケールまでくりこみ群で引き上げることにより、高エネルギースケールのパラメータが得られる。しかし、レプトンセクターには混合行列の 1-3 角、CP 位相、ニュートリノ質量の絶対値等低エネルギースケールの実験で決定されていないパラメータがある。また、seesaw 機構を考えると、中間スケール (M_R) で、低エネルギーの実験では測れないパラメータが数多く導入される。このため、高いエネルギースケールにおけるニュートリノパラメータの決定には大きな不定性がある。

この論文では、 M_R スケールで 1-3 回転角が 0 となるようなクラスに属する Majorana ニュートリノの質量行列に対する MSSM のくりこみ群の効果を調べ、以下の結果を得た。(1)大気ニュートリノ混合に対するくりこみ群の効果は無視できる。(2)ニュートリノ質量が縮退するにつれてくりこみ群の効果は大きくなる。(3)太陽ニュートリノ混合に対する効果は 1-2 世代の質量の位相差に強く依存する。ただし、MSSM では、この角度はスケールを下げるにつれて、必ず大きくなる。(4)1-3 回転角および Dirac CP 位相がくりこみ群の効果によって生成される。

M_R スケールで 1-2 回転角が 45 度になるモデルは(3)の結果から、MSSM の範囲内では太陽ニュートリノ実験を説明できない。しかし、理論的には Bi-maximal 型や Democratic 型の質量行列を预言するモデルは魅力的である。そこで、GUT スケール (M_X) で Bi-maximal 混合になるようなモデルを考える。seesaw 機構を仮定すると、 M_X スケールと

M_R スケールの間でニュートリノ湯川結合定数行列による効果がある。この効果を利用して、湯川結合定数を適切に取ることで Bi-maximal 型の模型が実験を説明できることを示した。

実験結果を説明できる形のニュートリノ湯川結合定数行列を持つ具体的な模型を考える。MSSM では、 M_X スケールと M_R スケールの間でくりこみ群効果を通じて、ニュートリノ湯川結合が slepton セクターに新たなフレイバー混合を生じる。この slepton セクターのフレイバー混合の情報は lepton flavor violation 過程を観測することで引き出せる。この論文では、 M_X エスケールにおいて mSUGRA 型の soft SUSY breaking term を仮定し、lepton flavor violation の寄与を議論した。この模型では、くりこみ群の効果によって太陽ニュートリノの実験を説明する必要がある、くりこみ群の効果は大きい。このため、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 等の過程が大きくなり得る。解析の結果重いニュートリノの質量差の影響のみを考えた場合には、ここで考えている模型で $\text{Br}(\mu \rightarrow e\gamma) > \text{Br}(\tau \rightarrow \mu\gamma)$ が予言されることが分かった。

論文審査の結果の要旨

ニュートリノに質量があることは、SuperKamiokande、SNO や Kamland のニュートリノ振動実験から明らかになった。これらの実験から、ニュートリノの質量の二乗の差やニュートリノの混合角が決まる。質量や混合角はニュートリノの質量行列から導出されるが、質量行列は大統一理論で与えられると考えられる。従って、理論から導出される混合や質量は大統一理論のエネルギースケールで与えられたもので、上記の低エネルギー実験で得られた実験値と比べるためには、繰り込み群を用いて（輻射補正を取り入れて）、高エネルギーで与えられた質量や混合角から、低エネルギーのものを導かなければならない。

この博士論文では、高エネルギーで与えられた質量や混合角が低エネルギーでどのように変化するかを解析的に調べた。特に、高エネルギーで、bi-maximal 混合（大気ニュートリノと太陽ニュートリノ混合角が共に最大の 45 度）が与えられたとき、低エネルギーではどのような混合角が得られるか詳しく調べた。その結果、3 種類あるニュートリノの質量は比較的大きくほとんど縮退していなければならないこと、その際ニュートリノの質量の間の相対位相（マヨラナ CP 位相）が重要な役割を演じること、また、レプトン数発生機構で必要な高エネルギーで現れる CP を破る位相がこれらのマヨラナ CP 位相と直接関係していること等を見いだした。さらに、この模型では $\mu \rightarrow e + \gamma$ のようなレプトンの香りを破る過程がおこる頻度が予言されうることを示した。

以上のことから、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。