

## 論文審査の要旨

|  |                    |    |         |
|--|--------------------|----|---------|
| 博士の専攻分野の名称   | 博 士 ( 理 学 )        | 氏名 | 由 宇 朗 大 |
| 学位授与の要件  | 学位規則第 4 条第 ①・② 項該当 |    |         |
| 論文題目   |                    |    |         |
| <p>Study of Three Generation Seesaw Model with Dirac Mass Matrix of Four-zero Texture and CP Violation in Neutrino Sector</p> <p>(Dirac 質量行列における 4-0 テクスチャーを用いた 3 世代シーソー模型とニュートリノセクターにおける CP 対称性の破れ)</p>   |                    |    |         |
| 論文審査担当者  |                    |    |         |
| <p>主 査 准教授 両角 卓也</p> <p>審査委員 教授 稲垣 知宏 (情報メディア教育研究センター)</p> <p>審査委員 教授 小畠 康史</p> <p>審査委員 教授 深澤 泰司</p>   |                    |    |         |
| 〔論文審査の要旨〕  |                    |    |         |
| <p>シーソー機構は、ニュートリノが他のクォークレプトンに比較して小さな質量をもつことを説明するメカニズムである。シーソー模型においては重い右巻きニュートリノに対して軽い左巻きニュートリノがあり、軽いニュートリノの質量は重い右巻きニュートリノの質量に反比例する。</p> <p>本論文では、重いマヨラナ質量をもつ 3 つの右巻きニュートリノを含む 3 世代シーソー模型を研究している。3 世代シーソー模型は、3 つの軽い質量をもつニュートリノの存在を予言する。最も一般的な 3 世代シーソー模型は、18 個のパラメーターを含む。その内訳は 3 つの重い右巻きニュートリノの質量と重いマヨラナニュートリノと軽いニュートリノの結合を表すディラック質量項に含まれる <math>9 + 6 = 15</math> 個のパラメーターである。これらを合わせた 18 個のパラメーターは、低エネルギーのニュートリノ実験で測定できる混合角等の観測量(7 個から 9 個)に比べてはるかに多く、これらの実験データだけから 3 世代シーソー模型の全体像を把握することは困難である。</p> <p>これに対して、Dirac 質量項や右巻きのマヨラナニュートリノの質量項を表す行列の要素に関して部分的に零の要素を仮定して解析する方法がある。この方法では、行列のどの要素を零に置くかの任意性があり、その数と位置を零テクスチャーと呼んでいる。本論文で研究されている 3 世代シーソー模型のディラック質量項は <math>3 \times 3</math> の複素行列で 9 つの行列要素があるが、そのうちの 4 つの成分を零とする 4 零テクスチャー模型を本論文では研究している。</p> <p>このように制限されたパラメーター空間で予言を試みるひとつの動機は、最も軽いニュートリノの質量がゼロになる、あるいは CP の破れが起こらない、などの場合を排除しつつ、パラメーターの数が少ないという条件を両立させるためである。</p> <p>4 零テクスチャー模型においては、適切なパラメーターのとり直しによって軽いニュートリノの質量行列は 7 個のパラメーターであらわされる。一方、同じ質量行列を 9 つの物理量、すなわち 3 つの質量固有値、3 つの混合角、3 つの CP の破れの位相でも書くことができる。</p> |                    |    |         |

このため、このモデルでは、9個の物理量の間には2つの関係式があることが予想できる。9個の量のうち最も軽いニュートリノの質量固有値と3つのCPの破れの位相はまだ測定されていないため、実験によって測定されている物理量もインプットにすると、3つのCPの破れの位相と最も軽いニュートリノの質量からなる4つの物理量の間には2つの関係式が存在することになる。

最も軽いニュートリノの質量をその質量上限の範囲で動かして、ニュートリノ振動実験で観測されている質量2乗差と3つの混合角を誤差の範囲内で実現するようなパラメーターを数値的に探した。

本研究の結果で特に新しい点は、以下の点である。

#### (1) 4零テクスチャーモデルの分類

異なる4零テクスチャーは全部で126とおりにあるが、これらを行および列の置換でクラス分けした。この分類によって、126とおりの異なるテクスチャーをすべて数値計算する必要がなくなり、いくつかの代表的な場合を調べればよいことになった。このようにモデルのすべての場合を尽くす際の数値計算の労力を大幅に縮小でき、これを効率的に行うことが可能になった。

#### (2) 実際の数値計算によるパラメーターの決定

実験値と矛盾のないパラメーターに対して3つのCPの破れの位相を計算しそれらの間の相関を研究した。4零テクスチャーモデルにはCPを破る位相の数は2個しか含まれていない。これは、マヨラナニュートリノの場合に許されるCPの破れの位相の総数3（Dirac位相1,マヨラナ位相2）に比べ少ない。このことからこのモデルでは3つの位相が独立ではなく1つの関係が存在することを予想する。実際、数値計算して3つの位相を数値的に求めることにより3つの位相間に特徴的な相関があることを発見した。

#### (3) (2)で発見した相関の説明

(2)ではパラメーターをランダムに振ることで質量2乗差や混合角を説明できる場合を探し、CPの位相の相関を散布図の形で数値的に見出した。

一方この数値的に見いだされた関係は別の方法でも理解できることが分かった。

4零テクスチャーモデルで軽いニュートリノに関する質量行列を計算するとその要素または要素間に一つの非自明な関係式が導かれる。この関係式の実部、虚部は、3つのCPの破れの位相と最も軽いニュートリノの質量に対する2つの条件式とみなすことができる。この条件式と(2)の場合に数値的に得られたCPの破れの位相の相関とが一致していることが分かった。

以上のように本論文はシーソーモデルのディラック質量行列に関する4零テクスチャーモデルを研究し、このテクスチャーの中で可能なすべての場合を解析した。その結果、ニュートリノ振動実験と整合性のあるパラメーターを同定することができた。このことは4零テクスチャーモデルのクラス分けによって可能になったもので本論文の特に独創的な点である。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

Hidden relations in three generation seesaw model with Dirac mass matrix of four-zero texture

Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Hiroyuki Umeeda, and Akihiro Yuu

Phys. Lett. B 799 (2019) 135046.