



The Analysis of Neutrino Mass Matrix on the Basis of the GrandUnified Theory and the Seesaw Mechanism

辻本, 寛司

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2006-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3697

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003697>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 271 】

氏 名・(本 籍) 辻本 寛司 (大阪府)
博士の専攻分野の名称 博士(理学)
学 位 記 番 号 博い第315号
学位授与の 要 件 学位規則第5条第1項該当
学位授与の 日 付 平成18年3月25日

【 学位論文題目 】

The Analysis of Neutrino Mass Matrix on the Basis of the Grand
Unified Theory and the Seesaw Mechanism
(大統一理論とシーソー機構に基づくニュートリノ質量行列の解析)

審 査 委 員

主 査 教 授 林 青司
教 授 野崎 光昭
教 授 山田 泰彦

ニュートリノ振動実験によって観測される物理量は、ニュートリノが3世代の場合には6つあります。ニュートリノの質量固有状態と弱い相互作用の固有状態の混合を表す混合角が3つと、質量固有値の自乗の差が2つ、CPの破れを表す位相が1つの計6つです。現在までに行われた実験により、3つの混合角のうちの2つと、質量固有値の自乗差の2つの、計4つについてはその値は誤差を含めてほぼ確定していて、残り1つの混合角についても上限が求められており、他の2つの混合角と比較して非常に小さいということが分かっています。一方、ニュートリノ振動実験では観測できないニュートリノの質量固有値は、宇宙背景輻射のゆらぎを観測することによりその上限が求められていて、3世代の場合、最も軽いニュートリノの質量は0.23 eV以下であることが分かっています。

他の素粒子と比べて非常に小さなこのニュートリノの質量は、シーソー機構と呼ばれる処方によって自然に説明できます。一般に、ニュートリノの顕著な性質として、電荷を持たないということが知られています。これはニュートリノが粒子・反粒子の区別のないマヨラナ粒子である可能性を示唆していて、この場合にはニュートリノはディラック型と呼ばれる質量の他にマヨラナ型と呼ばれる質量を持つことが許されます。この場合に、ニュートリノのディラック質量をクォークと同程度のウィークスケールに、そしてマヨラナ質量を大統一スケールとすると、ニュートリノの非常に小さい質量が説明できる、これがシーソー機構です。そして今用いた仮定、つまりニュートリノの質量を標準理論における典型的なスケールと同一視するという仮定は、例えば大統一理論の1つのモデルである、SO(10)対称性に基づく大統一理論では正当化できます。SO(10)対称性がある場合、ニュートリノのディラック質量行列はアップクォークセクターのディラック質量行列と一致することが示されます。更には、右巻きニュートリノをSO(10)のスピンールの既約表現では含んでいますが、この粒子が低エネルギー有効理論としての標準理論において相互作用をしないということから、ニュートリノのマヨラナ質量はウィークスケールよりも十分大きな真空期待値から得られるということが予想されます。

そこで、このシーソー機構およびSO(10)対称性から演繹される質量行列間の対称性を利用してニュートリノの質量行列を解析し、ニュートリノ振動実験で得られた実験値を再現するための条件を見出すという研究を私は行いました。更にはニュートリノの質量行列にできるだけ自然な仮定を与えることにより、ニュートリノの質量固有値を推定するという研究を、2つの仮定に場合分けして行いました。

私がニュートリノの質量行列に与えた第1の仮定は、「マヨラナ質量行列の質量固有値は、クォークの質量固有値に見られるように等比数列を成す」という仮定で、この解析を第5章で行いました。CPを破る位相を無視した場合、この仮定を用いると、ニュートリノの質量行列は5個のパラメータによって記述できます。そしてこれらのパラメータの値は、ニュートリノ振動実験の5つの観測量によって完全に決定できます。そして得られたパラメータを代入することにより、ニュートリノの質量行列を再現し、ニュートリノの質量固有値を求めようというのが主な目的です。私はまず、上限しか求められていない非常に小さな混合角をゼロとして解析しました。そしてこの解析により分かったことは、質量固有値が2通りに決まるということでした。そして次にこの混合角をその上限まで変化させて質量固有値を求めてみましたが、この場合にはそれぞれの混合角に対応する質量固有値は複数個存在し、下限は存在するが上限は上述の宇宙背景輻射のゆらぎによる上限の範囲を超えて存在することが分かりました。更には、繰り込み群の影響をも考慮した解析を行いました。

そして私がニュートリノの質量行列に与えた第2の仮定は、「シーソー機構によって現れる余分な3つの回転角のうちの2つが最大混合角、つまり45度である」という仮定で、この解析を第6章で行いました。この場合も残る不定のパラメータが5つとなるので、ニュートリノ振動実験の5つの観測量と比較することにより、これらを完全に決定できます。そして得られたパラメータを代入することにより、ニュートリノの質量行列を再現し、ニュートリノの質量固有値を求めました。更にこの場合においては、6つあるCPを破る位相を考慮した場合の解析も行い、同時にニュートリノレスダブルベータ崩壊の崩壊確率の計算を行いました。

氏名	辻本 寛司		
論文 題目	The Analysis of Neutrino Mass Matrix on the Basis of the Grand Unified Theory and the Seesaw Mechanism (大統一理論とシーソー機構に基づくニュートリノ質量行列の解析)		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	林 青司
	副査	教授	野崎光昭
	副査	教授	山田泰彦
	副査		
			印
			印
要 旨			
<p>他との相互作用が弱く観測しにくい素粒子であるニュートリノは特異な存在であり、ニュートリノに質量が存在するのか、存在したとしても何故非常に小さいのか、というのは素粒子物理学の大きな問題であったが、最近の日本における Super-Kamiokande 実験等により、生成されたニュートリノが伝播中に他の種類(世代)のニュートリノに変わってしまうニュートリノ振動と呼ばれる現象が確認され、これによってニュートリノに質量が存在することが確実視されるようになって来ている。</p> <p>しかしながら太陽、大気ニュートリノ振動に関する実験データから、世代間の混合角が大きいといったクォークのセクターには見られない新たな事実が発見されており、これをどの様に説明し得るかという問題が提示されている。こうしたパズルの解法から標準模型を越える物理が考案される可能性もあり、素粒子理論の大きな話題となっている。また、ニュートリノ振動のデータからはニュートリノ質量2乗の差に関する情報のみが得られ、ニュートリノ質量の絶対値については何ら帰結が得られないという問題もある。</p> <p>この論文の主目的は、こうした観点から、ニュートリノの小さな質量を生成し得る機構として有力なシーソー機構およびその理論的枠組みたる大統一理論を用いて、ニュートリノ振動実験のデータを再現しながら、同時にニュートリノ質量の絶対値についての予言を行うことである。特にSO(10)大統一理論は右巻きニュートリノが必然的に含まれるといったシーソー機構を具現化するのに適した理論であるが、この理論の持つクォークとレプトンのディラック質量の間の対称性を用いると、ニュートリノ質量の絶対値の予言が可能になる、という興味深い帰結を導いている。</p> <p>1章の序論に続き、2章ではニュートリノ振動の理論形式を現実的な3世代の場合を含めて議論している。3章では太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、原子炉ニュートリノ等の振動実験から得られたデータを総括している。4章はシーソー機構の解説である。5章、6章が論文の中核を成す部分である。</p> <p>まず5章では右巻きニュートリノのマヨラナ質量が等比数列的である、というひとつの自然な仮定を設けることによって、ニュートリノ振動実験のデータを再現しながら同時にニュートリノ質量の絶対値について予言を行うことが可能であることを示している。次の6章では、シーソー機構において、ディラック質量の対角化の後に余分に必要となるユニタリー変換による対角化の際の二つの混合角が最大となる、という実験データからも示唆される妥当な仮定を用いて、ニュートリノ振動実験のデータを再現しながら同時にニュートリノ質量の絶対値について予言を行っている。更には、ニュートリノのマヨラナ粒子としての性質を直接検証する為に重要なニュートリノ無しの二重ベータ崩壊の崩壊確率を議論している。7章は全体のまとめである。</p> <p>以上みてきたように、本研究は、最近の素粒子物理学で注目されているニュートリノ質量と世代間混合に関して、大統一理論とシーソー機構という妥当な枠組みに基づいて詳細に調べたもので、SO(10)大統一理論の持つ対称性とシーソー機構の帰結として、現在までに得られているニュートリノ振動のデータを再現できるばかりでなく、ニュートリノ質量の絶対値やニュートリノ無しの二重ベータ崩壊の崩壊確率に関する予言値を導出している等、素粒子物理学に関する重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。</p> <p>よって、学位申請者の辻本寛司は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。</p>			