

素粒子理論研究室

1. 研究活動の概要

1) ニュートリノ振動確率に関する木村-高村-横枕の方法の非断熱的遷移を含む場合への拡張 (安田)

物質中でのニュートリノ振動確率の表式は一般に複雑になるが、物質密度が一定の場合には解析的に与えられることが木村-高村-横枕により示されている。さらに、物質密度が断熱的に変化し、かつ基線の長さが大きいために振動の平均化が起こる場合にも木村-高村-横枕の方法を拡張することにより振動確率が解析的に求められることが筆者の過去の研究により知られている。一方、物質密度が非断熱的に変化する場合で基線長が大きくて振動の平均化が起こる場合には、2準位の場合の非断熱的遷移過程のランダウ-ゼナーによる取扱いを各準位交差に適用することによりある程度解析的に議論できると考えられているが、その議論は、有効混合角が求まらなければ具体的に計算することが困難である。この研究では、有効混合角は、エネルギー固有値が何らかの近似により解析的に求まっていれば、木村-高村-横枕の方法により解析的に表すことが可能であることを示した。2つの準位が近接する時の行列の対角化が解析的に実効できない場合、有効混合角の選び方に曖昧さが存在するが、有効混合角は準位交差の近接点で $\pi/4$ になるべし、という条件から曖昧さを除くことができる。この事実により非断熱的遷移を含む場合で振動の平均化が起こる場合にも振動確率を解析的に表せることが示された。その例として、磁気モーメントを持つニュートリノが磁場中を運動する場合について、太陽ニュートリノの質量二乗差を無視でき、位相が存在しないという仮定のもとで議論した。

2) 大気ニュートリノによる非標準的ステライルニュートリノシナリオに対する制限の現象論 (安田・深澤)

1990年代に、標準的な3世代のニュートリノ振動では説明が出来ないLSNDの実験結果が出た後、その現象を追試するためにMiniBooNE実験がスタートした。その結果は2007年~2010年に報告されたが、MiniBooNE実験の結果はニュートリノと反ニュートリノのチャンネルで簡単な2世代のニュートリノ振動で説明できるものではなく、その後ニュートリノと反ニュートリノに差が出るようなシナリオが提唱された。その一つとして、ステライルニュートリノが通常よりもはるかに大きな物質効果を感じ、MiniBooNE実験のような基線の長さが短い場合でもニュートリノと反ニュートリノに違いが出るという可能性がKaragiorgiたちによって提案された。この研究では、このシナリオがスーパーカミオカンデの大気ニュートリノ観測からどれだけ制限を受けるかを議論した。大気ニュートリノは、伝播する基線の長いニュートリノを観測できる点に特徴があり、ステライルニュートリノと通常のニュートリノに小さな混合があると、大気ニュートリノのイベント数には標準的なシナリオの予言値からのずれが出ることになる。ここではスーパーカミオカンデのモンテカルロの結果を厳密には再現できなかったため、我々のシミュレーションの結果を使って、標準的な場合と大きな物質効果のあるステライルニュートリノでKaragiorgiたちによるLSND+MiniBooNEを説明する混合角の場合とで比較をした。詳細な数値結果、Karagiorgiたちのステライルニュートリノシナリオは 3σ 程度の信頼係数で排除できることがわかった。定量的な解析は現在も継続中である。

3) 弦模型における宇宙論 (北澤)

弦理論を用いて記述される素粒子の弦模型は標準模型を越えたものとして期待されているものである。重力相互作用を自然に含むという要請から、通常は弦の張力のエネルギースケールは非常に大きい(プランクスケール)と考えられ、その場合には弦の物理を加速器実験で検証することは不可能となる。しかしながら、弦模型の高エネルギーの物理が初期宇宙の高エネルギー現象において重要な役割を果たして

いる可能性があるため、弦模型の初期宇宙の現象への予言を行うことは重要である。最近の宇宙観測の結果は精密になってきており、弦模型の痕跡を見つけることのできる可能性がある。一般に素粒子の弦模型は超対称性を持つとは限らない。超対称性を持たない場合には、そのポテンシャルエネルギーが指数関数で記述されるスカラー場がいくつか現れる。指数関数で記述されるポテンシャルエネルギーにしたがうスカラー場と宇宙膨張の動力学には“climbing phenomena”という興味深いものがある。それは、宇宙のインフレーションの始まりからごく初期の間のこと、スカラー場が指数関数型ポテンシャルエネルギーの低いところから一度登らされてからいったん止まり、そして下っていった後にインフレーションを起こすというものである。この現象がある場合には、大きなスケールの宇宙背景輻射のゆらぎに特有な効果があることを正確に理解し、その結果を実際の観測と比較した。現状では観測はこの現象をサポートしているとは言えないが、排除もしていない。この研究はピサ高等師範学校の A.Sagnotti 氏との共同研究である。

4) 弦理論におけるDブレーンの動力学におけるコンパクト化 (北澤)

平坦な時空を仮定すると矛盾のない弦理論は10次元の時空間を要求する。この場合、余分な6次元は現在の我々が観測できないように小さく丸まったもの（コンパクトなもの）でなければならない。この「コンパクト化」の問題は非常に重要であるにもかかわらず、現在の弦理論の技術の及ぶ範囲で具体的に実現できている例はごく少ない。特に超対称性なしにそれを実現している例は皆無である。超対称性がない場合にはDブレーンと呼ばれる弦理論における重要な物体の間に引力や斥力が働く。Dブレーンの間の引力や斥力のバランスでコンパクト空間を安定に保つ（なぜコンパクトであるのかというより難しい問いには答えない）という可能性を追求した。様々なコンパクト空間の可能性のうち、それを変形（体積や形を変えること）する自由度が少ないものを選び、さらに磁気を帯びたDブレーンを導入するとそれを達成できる可能性がある。この研究は進行中で、来年度からの科学研究費(C)の主な研究課題である。

5) 量子色力学におけるインスタントン効果の実験的検証 (北澤・小原)

量子色力学(QCD)の真空には非自明な構造があると信じられている。それは無限に存在する同等な「真空」の量子力学的な重ね合わせが本当の真空である、というものである。同等な「真空」の間は、量子力学的なトンネル効果によって遷移することができ、そのトンネル効果はユークリッド化された時空での量子色力学のゲージ場の場の方程式の特殊な解（インスタントン解）によって記述されると信じられているので、インスタントン効果と呼ばれる。実はインスタントン効果はまだ純粋に理論的なもので、それは実験的に検証されたものではない。インスタントン効果が理論的にどれほど必然的なものであるかを先入観にとらわれずに慎重に検討した。この効果があるとしたとき、それがどのような実験で検証できるのかを考察することが今後の課題である。特にLHC加速器が高輝度であることを考慮して、その加速器を用いた実験での検証について考察し、必要であれば実験のシミュレーションを行うことも今後の課題である。

2. 研究業績

1) 論文

Noriaki Kitazawa and Augusto Sagnotti, Pre-Inflationary Clues from String Theory?, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **04** (2014) 017.

2) 学会講演

● 日本物理学会年会 第69回年次大会 2014年3月27日～3月30日（東海大学湘南キャンパス）

深澤信也, 安田修: ステライルニュートリノに働く新しい物質効果の探索 (28aTK-9)

国内研究会

● 研究会「ニュートリノフロンティアの融合と進化」, 東大(本郷キャンパス), 2013年4月21日

安田修: ニュートリノ振動の解明に向けて

国際会議

● JPS-KPS joint meeting, April 24, 2013, Daejeon, South Korea

O. Yasuda: Recent status of neutrino oscillation phenomenology (Invited talk)

● INTERNATIONAL SCHOOL OF NUCLEAR PHYSICS, 35th Course September 16-24, 2013, Erice-Sicily, Italy

O. Yasuda: Constraints on non-standard interactions by atmospheric neutrinos

● PASCOS2013 November 20-26, 2013, Taipei, Taiwan

O. Yasuda: An analytical treatment of neutrino oscillation probabilities (invited talk)

● A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2013), December 12-18, 2013, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: Non-standard flavor-dependent interactions and atmospheric neutrinos