

素粒子理論サブグループ

1. 研究活動の概要

1) ニュートリノ振動におけるパラメータ縮退の構造 (南方・内波)

ニュートリノ振動を用いるレプトン混合パラメータの決定において、ニュートリノ・反ニュートリノ振動確率の測定値に対して多重解が存在し、解がユニークに求まらないという問題がある。この「パラメータ縮退」と呼ばれている現象の全体構造を解明するための研究を行った。広く用いられているセルベラ達による振動確率公式を用いて、ミュー・電子ニュートリノを用いる CP、T、CPT 共役チャンネルの振動確率、さらには T 共役チャンネルとタウニュートリノ出現過程の振動確率の対を与えたときに存在するパラメータ縮退解を解析的に全て求めた。セルベラ公式が離散変換に対する不変性をもつことを指摘し、これをより一般化して「パラメータ縮退とは振動確率をもつ離散変換不変性である」という新しい視点を提示した。パラメータ縮退の解析解を使って CP 共役チャンネルの縮退解の全体像を明らかにした。

2) 非標準的なニュートリノ相互作用の存在の下での 2 種類の CP 非保存効果の分離・検出 (南方・内波)

高いエネルギースケールに存在する標準模型を超える新しい物理の反映として、高次元演算子として表現されたニュートリノを含む非標準的相互作用の効果をニュートリノ振動を使って探索する可能性が盛んに議論されている。この非標準的相互作用の強さは、最も楽観的な次元 6 の演算子を仮定しても弱い相互作用の 1% 以下の微弱なものであるため、この探索には超精密実験が必要とされる。高輝度ミュオン蓄積リングを用いるニュートリノファクトリーがこの最有力候補である。非標準的なニュートリノ相互作用が存在する系の特徴は、この新しい相互作用に起因する CP 非保存効果が標準的なレプトン小林・益川位相によるものと共存し、この二つの効果が分離ができるかどうか大きなポイントである。2007 年度に我々が提案したニュートリノファクトリーを用いた 3000 km・7000 km の基線長をもつ 2 検出器系を用いて、この分離・検出が可能であることを示した。さらに、この系のシミュレーションに現れた非標準的相互作用が存在する系におけるパラメータ縮退の問題について、この解析的理解が可能であることを示した。(ペルー・カトリック大学 A. M. Gago 氏、リオデジャネイロ・カトリック大学 布川弘志氏、サンパウロ大学 R. Zukanovich-Funchal 氏との共同研究)

3) T2KK 長基線ニュートリノ実験計画における非標準的物質効果 (安田・大木)

将来の長基線ニュートリノ実験では、標準的な三世代ニュートリノ混合のパラメータを精密に決定出来るだけでなく、標準的なシナリオからのずれを測定することにより、新しい物理を探索することも可能であると期待されている。この研究では、標準模型を超える物理により、ニュートリノの伝播中の物質効果に新たな項が存在する場合、現在の T2K 長基線ニュートリノ実験の拡張構想である T2KK 計画で、どの程度まで新物理のパラメータを制限できるかを、電子ニュートリノとタウニュートリノの成分だけに注目して数値的に解析した。その結果、現在の制限より一桁ほど改善できることがわかった。さらに、この場合、標準的な CP 非保存位相と新物理によるものが 2 種類存在するが、標準的混合角 (13) と新物理のパラメータがある程度大きければ、別々に測定が可能であることを示した。又、上記の解析では、物質効果のミューニュートリノの成分が無視できる程度に小さいと仮定したが、その仮定を正当化するために、高エネルギー大気ニュートリノのデータが、ほぼ真空中の二世代のニュートリノ振動で記述されるという事実を用いて、ミューニュートリノの成分が小さいということを、解析的に推論した。

4) 物質中におけるニュートリノの吸収と不活性ニュートリノ混合 (安田・生田目)

通常のニュートリノは、エネルギーが非常に高くなると、弱い相互作用の断面積がエネルギーに比例して増加するため、地球を貫通することができなくなることが知られている。一方、不活性ニュートリノには、弱い相互作用もないため、そのような吸収の効果が存在しない。不活性ニュートリノと1種類の通常のニュートリノが混合する場合には、Naumovにより、ニュートリノが地球を貫通する確率が、不活性ニュートリノ混合の大きさによってどの程度変化するか調べられている。この研究では、ニュートリノの吸収がない場合にニュートリノ振動の確率を解析的に表す木村 - 高村 - 横枕の定式化を、ニュートリノの吸収がある場合に一般化することにより、不活性ニュートリノと3種類の通常のニュートリノが混合する場合を議論した。不活性ニュートリノ混合が存在する場合に、天体起源の高エネルギー宇宙ニュートリノが地球を貫通する様子から、どれだけ不活性ニュートリノ混合に制限をつけられるかを解析した。残念ながら結果は現在の制限を越えるほどではないことがわかった。

5) 三世代ニュートリノにおける非断熱遷移の取り扱い (山本)

超新星などの高密度物質の内部からニュートリノが放出される場合、三世代ニュートリノ混合の枠組では、高準位 中準位の過程と中準位 低準位の過程の非断熱遷移が起こる可能性があり、従来の研究では実際に起こる非断熱遷移はこれら二つの過程の組み合わせで記述できると考えられていた。この研究では、3準位における非断熱遷移が2準位における非断熱遷移の組み合わせで記述し得るか、又記述できない場合にはどういう場合に記述できないかを研究した。この論文では現実的なニュートリノ振動のパラメーターの値やニュートリノエネルギーの値 E にとらわれず、非断熱遷移が起こり得る色々なパラメーターの値と E について数值的・解析的に研究を行った。解析の結果、太陽ニュートリノと大気ニュートリノの質量二乗差が同程度であり、かつ混合角が適当な範囲にある場合に2準位の非断熱遷移の組み合わせによる記述が破綻すること、又、考察している2準位とは別なセクターの混合角の空間変化が2準位のエネルギー固有値差と比較して無視できないことが2準位による議論が破綻するための条件であることがわかった。

6) 低スケール弦模型における電弱対称性の動力的破れの可能性 (北澤)

素粒子の弦模型のなかで、弦の張力のエネルギースケールが小さいものは、今年度末に稼働を始めたLHC 加速器による実験で検証、または排除できる可能性がある。重力理論としての弦理論においては、弦の張力のエネルギースケールは非常に大きなプランクスケールであることが自然である。しかし、自然界には電弱対称性の破れのエネルギースケールというものもあるので、弦の張力のエネルギースケールがそれに近いスケールである可能性もある。電弱対称性の破れが弦の動力学によって起これば、そのエネルギースケールは弦の張力のエネルギースケールで決定されることになる。また、この場合、模型によらず一般に、LHC 加速器による実験で検証可能であるほどの軽いベクトル粒子 (anomalous $U(1)$ gauge boson) の存在が预言される。この軽いベクトル粒子が、テクニカラーシナリオという、強結合相互作用による電弱対称性の動力的破れの模型の決定的な困難の解決に一役買う可能性があることを示唆した。すでに実験で観測されているべきである強結合相互作用による束縛状態の特定の効果が観測されていないという決定的な問題が、軽いベクトル粒子の働きによってその効果が相殺されて観測されないという可能性を示唆した。

7) 弦模型におけるモジュライ安定化と宇宙のインフレーション (北澤)

弦理論は基本的に時空 10 次元での現象を表現するものである。したがって、我々の 4 次元時空での素粒子模型を構成する際には、余分の 6 次元空間を小さく「コンパクト化」しなければならない。コンパクト化された方向の空間はごく小さいために、未だ観測されていないと考える。コンパクト化された空間

の大きさは、4次元時空でのスカラー場（モジュライ場という）の真空期待値として表現され、その値を適切な値に安定に保つことが課題となる（モジュライ安定化の問題）。ひとつの可能性として KKLT (Kachru-Kalosh-Linde-Trivedi) のシナリオというものがある。弦理論の非摂動論の効果によるモジュライ場の指数関数のポテンシャルを利用するものである。このシナリオにおいて、モジュライ場が必然的に指数関数のポテンシャルの壁を駆け上るような解が存在しないことを発見し、モジュライ安定化が動力学的に達成される可能性を見いだした。また、指数関数のポテンシャルにしたがうモジュライ場は宇宙のインフレーションを起こすインフラトンの働きをする可能性もあり、その場合の宇宙密度揺らぎについて数値計算を行った。この研究は、ピサ高等師範学校の A.Sagnotti 氏と、パリ工科大学の E.Dudas 氏との共同研究で、昨年度の研究「超対称性を持たない弦模型における自然なインフレーション」を引き継いで、まだ進行中のものである。

2. 研究業績

1) 論文

A. Bandyopadhyay, N. Kitazawa, O. Yasuda et al.: Physics at a future Neutrino Factory and super-beam facility, *Report of Progress in Physics*, **72** (2009) 106201.

A. Donini, K. Fukui, D. Meloni, J. Lopez-Pavon, O. Yasuda: The Discovery channel at the Neutrino Factory: $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ pointing to sterile neutrinos, *Journal of High Energy Physics* **08** (2009) 041.

A. Gago, H. Minakata, H. Nunokawa, S. Uchinami, and R. Zukanovich Funchal: Resolving CP Violation by Standard and Nonstandard Interactions and Parameter Degeneracy in Neutrino Oscillations, *Journal of High Energy Physics* **01** (2010) 049-1-47.

2) 国際会議報告

H. Minakata: Large- θ_{13} Perturbation Theory of Neutrino Oscillation, *Acta Physica Polonica B* **40** (2009) 3023-3031.

H. Minakata: Neutrino's Non-Standard Interactions; Another Eel under a Willow?, in *Venice 2009, Neutrino Telescopes* 327-350.

S. J. Parke, H. Minakata, H. Nunokawa, and R. Zukanovich Funchal: Mass Hierarchy via Mössbauer and Reactor Neutrinos, *Nuclear Physics B - Proceedings Supplements* **188** (2009) 115-117.

3) 学会講演

日本物理学会 2009 年秋季大会 2009 年 9 月 10 日～9 月 13 日 (甲南大学)

A.Donini、婦木健一、J.Lopez-Pavon、D.Meloni、安田修：ニュートリノファクトリーにおけるステライルニュートリノ探索

国内研究会

実験・理論合同研究会「LHC が切り拓く新しい物理」、東京大学、2009 年 4 月 1 日 - 3 日

生田目春香: A New Problem of Virtual Kaluza-Klein graviton exchanges (口頭)

国際会議

Opening conference of the workshop “New Perspectives in String Theory”, Florence, Italy, April 6-8, 2009.

N. Kitazawa: Tadpole resummations and one-loop scalar masses in string models without supersymmetry

XXXIII International Conference of Theoretical Physics, Matter to the Deepest: Recent Developments in Physics of Fundamental Interactions, USTRON '09, September 11 - 16, 2009.

H. Minakata: Long-Baseline (LBL) Neutrinos; Looking Forward to the Future

22nd International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (WIN09), Perugia, Italy, September 14-19, 2009.

S. Uchinami: Resolving CP Violation by Standard and Nonstandard Interactions in Neutrino Oscillations

International School of Nuclear Physics in Erice, Sicily, 31st Course: “Neutrinos in Cosmology, in Astro, Particle and Nuclear Physics”, Erice/Sicily, September 16 - 24, 2009.

H. Minakata: Perturbation Theory of Neutrino Oscillations with and without Nonstandard Interactions

4th Plenary Meeting of the International Design Study for the Neutrino Factory, Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, October 12–14, 2009

O. Yasuda: Tau detection and new physics (talk through video conference)

Madrid Neutrino NSI Workshop, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain, December 10–11, 2009

O. Yasuda: Sterile neutrino mixings and near detectors (Invited talk)

A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami 2009), Lago Mar Resort, Fort Lauderdale, Florida, USA, 15–20 December 2009

O. Yasuda: Sensitivity to sterile neutrino mixings at a Neutrino Factory (Invited talk)

5th International Conference on beyond the Standard Models of Particle Physics, Cosmology and Astrophysics (BEYOND 2010), Cape Town, South Africa, February 1–6, 2010

O. Yasuda: The Discovery Channel at a Neutrino Factory (Invited talk)

XLVth Rencontres de Moriond (Moriond EW 2010), La Thuile, Italy, March 6–13, 2010

H. Oki: T2KK and non-standard neutrino interactions