

素粒子理論研究室

1. 研究活動の概要

1) 大気ニュートリノによる非標準的相互作用探索の現象論 (安田・深澤)

標準模型を越える物理がある時、レプトンのフレーバーを保存しない有効相互作用が一般には現れ得る。そのような有効相互作用は、ニュートリノの伝播における物質効果に修正項をもたらす。ニュートリノの伝播における物質効果の標準模型からのずれを無次元パラメーター $\epsilon_{\alpha\beta}$ ($\alpha, \beta = e, \mu, \tau$) で表すと、 $\epsilon_{ee}, \epsilon_{e\tau}, \epsilon_{\tau\tau}$ の各成分への制約が現在最も弱く、これらのパラメーターへの制限を改善することで、新しい物理のヒントが得られる可能性がある。ニュートリノの伝播の物質効果は、10GeV 程度のエネルギー領域でかつニュートリノの走る基線が 1000km 以上の長い場合に顕著となることが知られており、このエネルギー領域で基線の長い実験を精密に行うことにより、上記のパラメーターの制約を改善できると考えられる。スーパーカミオカンデにおける大気ニュートリノ観測は、エネルギーしきい値が低く、基線の長さも地球の直径程度まで観測できるので、ニュートリノの伝播における物質効果をテストするのに適した実験であると考えられる。しかし、現在のスーパーカミオカンデ実験は残念ながら統計量がまだ十分とは言えず、統計誤差が支配的となっている。そこで、将来のハイパーカミオカンデ実験について上述のパラメーターに対する感度を数値的方法により詳細に解析した。解析に当たっては、現在すでに強い制約が得られている $\epsilon_{\alpha\mu}$ ($\alpha = e, \mu, \tau$) 成分を 0 とし、 $\epsilon_{\tau\tau}$ 成分は高エネルギー大気ニュートリノからの制約で $\epsilon_{\tau\tau} = |\epsilon_{e\tau}|^2 / (1 + \epsilon_{ee})$ となることを仮定して計算した。ハイパーカミオカンデ実験の場合にはまだデータは存在しないので、ニュートリノの質量による標準的フレーバー転換のみがある場合と新しい物理がある場合のそれぞれのイベント数の理論的予言値の比較によって解析を行った。その結果、異なるデータセットの間での非自明な相殺が起こるため、全イベント数のみによるレート解析は、エネルギースペクトルによる解析にくらべて新物理のパラメーターに対する感度が大きく劣ること、又、逆質量階層性の場合には、ニュートリノと反ニュートリノのイベント数の和のみによる解析がニュートリノと反ニュートリノの識別が出来た場合の解析にくらべて感度が劣ることがわかった。

2) 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において、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）と考える。この場合、自然界における弦模型に固有の物理現象の発現は宇宙初期の高エネルギーの時代に限られる。精密になってきた最近の宇宙観測の結果によって宇宙初期の情報が得られるようになってきており、弦模型の初期宇宙の現象への予言を行うことによりその痕跡を見つけることのできる可能性がある。

弦模型という大きな枠組みの中で、特に超対称性が “brane supersymmetry breaking” という機構によって破られている模型に着目すると、宇宙のインフレーションを起こすスカラー場がインフレーションの始まりの時期に特殊な動き (“climbing phenomena”) をすることが予言される。これは、宇宙背景放射のゆらぎの大きなスケール（長波長）の領域に独特の予言をすることになるが、それが WMAP や PLANCK 実験で実際に観測されている宇宙背景放射の大きなスケールでのゆらぎの宇宙標準模型 (Λ CDM 模型) からのずれを説明する可能性があることについて詳細に研究した。

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り、さらに PLANCK collaboration の A.Gruppuso 氏 と P.Natoli 氏とも共同研究を行った。

3) 弦模型のコンパクト空間のDブレーンの動力学における安定化 (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. 余分な6次元空間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. さらにこの「コンパクト」な空間の大きさや形を決まったものに固定しないと, 重力に似た長距離相互作用が現れ, 宇宙観測に矛盾する. この「コンパクト空間の安定化」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.

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)する自由度が少なく, かつ現在の弦理論の技術の及ぶ範囲にある, $T^6/Z_3 \times Z_3$ orbifold という空間に着目して, Dブレーンと呼ばれる弦理論における重要な物体による「コンパクト空間の安定化」の達成に向けた試みを行った. この空間は高い対称性を持つために形状を変える自由度がなく, 体積を変える自由度のみがある. 磁気を帯びたDブレーンを導入することにより, その空間の4次元部分空間の体積を固定することができることを具体的な模型を構成して示した. さらに互いに斥力を及ぼし合うブレーンをうまく導入すれば残りの2次元部分空間の体積も固定できる可能性を指摘した. これについては具体的に模型を構成する前に, 2次元空間内における2つのDブレーン間のポテンシャルエネルギーを求める際に存在する困難(結果が無限大になる)の解決法を提案した.

4) ゲージ・ヒッグス統一模型の LHC 実験における検証 (北澤, 酒井)

ゲージ・ヒッグス統一模型は「コンパクト」で現在の観測にかからない空間次元の存在を仮定して, 電弱ゲージ対称性の破れを通じて素粒子に質量を与えるヒッグス場を「コンパクト」な空間の方向に偏極したゲージ場として導入するものである. 素粒子の標準模型において, 電弱ゲージ対称性の破れを起こすために「手で」導入したヒッグス場の起源を説明するシナリオのひとつである. これは, ある枠組みの弦模型におけるゲージ対称性の破れを場の理論で表現したものになっている.

ヒッグス粒子は LHC 実験で発見され, さらにその細かい性質が少しずつ明らかになってきている. ヒッグス粒子そのものや弱い相互作用に関する LHC 実験によってゲージ・ヒッグス統一模型の検証(または排除)を行う研究はすでになされていた. ゲージ・ヒッグス統一模型の枠組みでは, 強い相互作用のゲージ対称性も「コンパクト」な空間の方向に存在していることが自然であり, これに着目して強い相互作用に関する LHC 実験からゲージ・ヒッグス統一模型に制限を与える研究を行った. おおまかに「コンパクト」な空間の体積に逆比例した重い粒子(Kaluza-Klein グルーオン)が予言され, それが発見されていないことにより, 「コンパクト」な空間の体積に制限を与えた.

2. 研究業績

1) 論文

Osamu Yasuda: On nonadiabatic contributions to the neutrino oscillation probability and the formalism by Kimura, Takamura and Yokomakura, *Physical Review D* **89** (2014) 093023.

Noriaki Kitazawa: Towards the stabilization of extra dimensions by brane dynamics, *International Journal of Modern Physics* **A30** (2015) 1550055.

2) 国際会議報告

Osamu Yasuda: Phenomenology of neutrino oscillation —Brief overview and its relevance to tau physics—, *Nuclear Physics Proceedings Supplement* **253-255** (2014) 139-142.

Shinya Fukasawa: Search for Non-Standard Interactions by atmospheric neutrino, *Proceedings of 49th Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theories*, 471-474.

3) 学会講演

国内研究会

● CRC タウンミーティング 2014, 2014 年 7 月 12 日～13 日, 名古屋大学東山キャンパス

安田修: ニュートリノの現象論 (招待講演)

● 第 28 回宇宙ニュートリノ研究会, 2015 年 2 月 21 日, 東大宇宙線研

安田修: ステライルニュートリノの現象論的レビュー

● “Workshop on geometry, extra dimensions and string phenomenology in Miyazaki,” 2014 年 11 月 4 日～6 日 (ANA ホリデー・イン リゾート 宮崎)

北澤敬章: “Towards stabilization of extra dimensions by brane dynamics” (招待講演)

国際会議

● 37th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2014), 2-9 July 2014, Valencia, Spain

O. Yasuda: The KTY formalism and nonadiabatic contributions to the neutrino oscillation probability

● XVIth International Workshop on Neutrino Factories and Future Neutrino Facilities (NUFACT2014), 25-30 August, 2014, Glasgow, UK

O. Yasuda: Constraints on non-standard flavor-dependent interactions from Superkamiokande and Hyperkamiokande

● A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2014), December 17-23, 2014, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: The KTY formalism and the neutrino oscillation probability including nonadiabatic contributions

● The XXVI International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2014), 2-7 June, 2014, Boston, USA

S. Fukasawa: Search for Non-Standard Interactions by atmospheric neutrino (poster)