

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)

近年の実験により三種類のニュートリノの間の標準的混合が確立されてきており、近未来に計画されているニュートリノでは、精密測定により標準的混合からのずれを探ることが出来ると期待されている。そのようなずれを与える可能性の一つにレプトンのフレーバーを保存しない非標準的相互作用がある。そのような非標準的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。最近、太陽ニュートリノと長基線原子炉ニュートリノ実験カムランドの質量自乗差に違いがあることが指摘されており、その違いが非標準相互作用からのニュートリノの物質効果によるものではないかという仮説がある。この質量自乗差の違いは、標準的な三世代の枠組みからのずれ、ひいては新しい物理の可能性を示唆するものであり、この仮説を検証することが重要となる。そこで以前我々が太陽ニュートリノで非標準的相互作用を探索した研究を、太陽ニュートリノの議論に使われているパラメーターに焼き直し、再度解析した。その結果、近未来のハイパーカミオカンデの場合には統計量の多さから上述の仮説をかなりの信頼度でテストできることがわかった。

2) 近未来の長基線実験の非標準的相互作用への感度 (安田)

近未来の長基線加速器ニュートリノ実験としては日本の T2HK と米国の DUNE が主なものとなっており、これに日本のハイパーカミオカンデ・南極の PINGU の大気ニュートリノ観測を組み合わせると三世代ニュートリノ混合の標準的枠組みにおけるパラメーターが決定されるというのが現実的なシナリオと考えられている。この研究ではそれらの現実的なシナリオの範囲内でこれら長基線実験の、ニュートリノ伝播における非標準的相互作用に対する感度を議論した。その際、非標準物質効果の成分のうち、既に制限が強いミュー成分を無視し、電子・タウ成分のみを残してかつ高エネルギー大気ニュートリノからの制約も考慮に入れ、統計誤差のみを入れて解析を行った。その結果、上記長基線実験の感度は、近未来のハイパーカミオカンデによる大気ニュートリノ観測には勝らないことがわかった。

3) 弦模型における宇宙論 (北澤)

重力相互作用を自然に含む弦模型において、弦の張力のエネルギースケールは非常に大きい（プランクスケール程度である）ことが自然であるので、弦模型に固有の物理現象の発現は宇宙のごく初期の高エネルギーの時代（宇宙のインフレーションの初期の時代）に限られる。弦模型の中でも特に超対称性が“brane supersymmetry breaking” という機構によって破られている模型においては、宇宙のインフレーションを起こすスカラー場（インフラトン）がインフレーションの始まりの時期に特殊な動き（“climbing phenomena”）をする場合がある。これは、宇宙背景輻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、それが実際に観測されている宇宙背景輻射の大きなスケールでのゆらぎの異常な振る舞い（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る。

4) 宇宙背景輻射の大きなスケールでのゆらぎの観測 (北澤)

宇宙のインフレーションの過程で生成される宇宙背景輻射の長波長領域（大スケール領域）には異常な振る舞いがあると指摘されてきた。そのひとつとして WMAP および PLANCK 実験による観測結果における宇宙背景輻射の長波長成分が宇宙標準模型（ Λ CDM 模型）の予言に比べて小さいのではないかと

ということが指摘されてきたが、それが統計的に有意なものであるかどうかは意見の分かれるところであった。

本年度内に終了した PLANCK 実験のすべての観測データを用い、宇宙背景放射の観測の際に重要である「銀河マスク」(背景放射の観測の際に邪魔になる我々の銀河面からの放射を遮る手続き)について詳細に考察し、統計的に有意にその長波長成分が Λ CDM 模型の予言に比べて小さいことを示した。行った解析は PLANCK collaboration によって正式に承認されているものである。

この研究はピサ高等師範学校の A.Sagnotti 氏、および PLANCK collaboration に属する A.Gruppuso 氏と P.Natoli 氏との共同研究である。

5) 弦模型におけるゲージ対称性の自発的破れ (北澤)

素粒子の「弱い相互作用」はゲージ対称性が自発的に破れた結果として生じる質量を持つゲージ粒子によって媒介されることが実験によって検証されている。この「電弱対称性の自発的破れ」という現象は場の量子論を基本的な枠組みとする素粒子の標準模型によって正確に記述されている。しかし、現状の素粒子の標準模型は素粒子とその相互作用を表現する最終的なものとは考えづらく(例えば重力相互作用が入っていない)、より最終的な表現に近づくひとつの方向として弦理論を基本的な枠組みとする模型に移行するという試みがある。

しかし、弦理論の枠組みにおけるゲージ対称性の自発的破れの理解は未だ不十分である。10次元時空を仮定する弦理論におけるDブレーンという多次元に広がりを持つ物体を用いた模型において、ゲージ対称性はそのDブレーンの占める部分時空内に実現される。我々の経験している時空間は4次元なので、余分の6次元空間は「コンパクト空間」と表現される閉じた観測できないほど小さな空間でなければならない。「電弱対称性の自発的破れ」で要求されるようなゲージ対称性の自発的破れを実現するためには、いくつかのDブレーンが消滅しなければならないが、その過程はこれまで明確にされてこなかった。そこで、コンパクト空間内の離散回転対称性を利用して複数のDブレーンを同一視することによって実質上のDブレーンの消滅を実現することを提案した。さらに、その状態を安定な定常状態として実現する可能性として、コンパクト空間内でDブレーンに働く中心力を導入してDブレーンを公転させ、遠心力と中心力の釣り合いによってそれを実現する動力学を提案した。

この研究は高エネルギー加速器研究機構の磯暁氏との共同研究である。

2. 研究業績

1) 論文

Shinya Fukasawa and Osamu Yasuda: Constraints on the non-standard interaction in propagation from atmospheric neutrinos, *Advances in High Energy Physics* **2015** (2015) 820941.

Noriaki Kitazawa and Yuki Sakai: Constraints on gauge-Higgs unification models at the LHC, *Modern Physics Letters A* **31** (2016) 1650041.

A. Gruppuso, N. Kitazawa, N. Mandolesi, P. Natoli and A. Sagnotti: Pre-Inflationary Relics in the CMB ? *Physics of the Dark Universe* **11** (2016) 68-73.

Satoshi Iso and Noriaki Kitazawa: Revolving D-branes and Spontaneous Gauge Symmetry Breaking, *Progress of Theoretical and Experimental Physics* **2015** (2015) 123B01.

Noriaki Kitazawa and Augusto Sagnotti: A String-Inspired Model for the Low- l CMB, *Modern Physics Letters A* **30** (2015) 1550137.

2) 国際会議報告

Osamu Yasuda: Constraints on non-standard flavor-dependent interactions from Superkamiokande and Hyperkamiokande, *Proceedings of Science Nufact2014* (2015) 045.

Noriaki Kitazawa and Augusto Sagnotti: String Theory clues for the low-l CMB ? *EPJ Web of Conferences* **95** (2015) 0303.

3) 学会講演

● 日本物理学会 2015 年秋季大会 2014 年 9 月 25 日 (日) – 28 日 (水) (大阪市立大学)

酒井裕企, 北澤敬章: LHC 実験によるゲージヒッグス統一モデルへの制限

国内研究会

● “New Physics Forum (第 8 回)” 2015 年 12 月 14 日 (高エネルギー加速器研究機構)

北澤敬章: “Extra Dimensions in String Phenomenology” (招待講演)

● 第 29 回宇宙ニュートリノ研究会, 2016 年 2 月 20 日, 東大宇宙線研

深澤信也: Constraints on the Nonstandard Interaction in Propagation from Atmospheric Neutrinos

国際会議

● Neutrino Theory and Phenomenology Workshop (Nu@Fermilab), 21–25 July 2015, Fermilab, USA

O. Yasuda: Non-Standard interactions in propagation through atmospheric neutrinos

● XIV International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2015), 7–11 September 2015, Torino, Italy

O. Yasuda: Constraints on the flavor-dependent non-standard interaction in propagation from atmospheric neutrinos

● A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2015), 16–22 December 2015, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: Searching for non-standard interactions at the future long baseline experiments

4) 学会誌等

安田修: ニュートリノ振動—量子力学的干渉効果の一例—, 日本物理学会誌 **70** (2015) 242

安田修: 素粒子物理学に大きな進展をもたらしたニュートリノ振動の発見, 化学 (化学同人) **70** (2015) 12月号, 19

安田修: 2015 年ノーベル物理学賞, 数学セミナー (日本評論社) 2016 年 3 月号, 43