

素粒子理論研究室

1. 研究活動の概要

1) ハイパーカミオカンデと DUNE による振動パラメーター決定の相補性 (安田、ゴッシュ、深澤)

将来のニュートリノ振動実験計画として、加速器ニュートリノ長基線実験では日本の T2HK とアメリカの DUNE が、又、自然のニュートリノ源ではハイパーカミオカンデ (HK) による大気ニュートリノ観測等が現実的なものと考えられている。この研究では、現時点で未定であるニュートリノの質量階層性、 $\pi/4 - \theta_{23}$ の符号、CP 非保存位相 δ に対する上記 3 つの実験の感度を議論した。T2HK + HK の大気ニュートリノ観測と DUNE ではそれぞれ 5σ (8σ) C.L. の質量階層性に対する感度を持つこと、又、これら 3 つを組み合わせた場合には質量二乗差、 $\sin^2 \theta_{23}$ 、 δ の測定精度はそれぞれ 0.3%、2%、20% となることがわかった。又、HK の大気ニュートリノ観測で θ_{23} のパラメーター縮退が起こる機構を明らかにした。

2) 太陽ニュートリノ-カムランド間の齟齬・NOvA-T2K 間の齟齬・T2K-原子炉ニュートリノの齟齬を非標準相互作用により説明する試み (安田、ゴッシュ、深澤)

現在までのニュートリノ振動に関する実験データは、標準的な三世代間の混合によりおおむね説明されているが、必ずしも定量的に整合性があるとは言えないデータが存在する。それらは (i) 太陽ニュートリノ実験とカムランド実験による質量二乗差の測定値が異なっている点、(ii) T2K 実験と NOvA 実験による混合角 θ_{23} の測定値が異なっている点、(iii) T2K 実験と短基線原子炉ニュートリノ実験による混合角 θ_{13} の測定値が異なっている点である。これらの齟齬を、ニュートリノ伝播に影響を与える非標準相互作用により説明できるかどうかを検討した。残念ながら非標準相互作用を導入しても全体のデータへのフィットがわずかに改善する程度で、3 つの齟齬を説明できるほどではないことがわかった。

3) T2HKK 実験の非標準相互作用に対する感度 (安田、ゴッシュ、深澤)

T2K 実験の拡張計画である T2HK 実験は基線長が短く、単独ではニュートリノの質量階層性に対する感度が低いという問題があることが知られている。それを補う計画として、第二の後置検出器を神岡だけではなく、韓国にも置くという T2HKK 実験が提案されている。この研究では、ニュートリノ伝播に影響を与える非標準相互作用に対する T2HKK 実験の感度を、簡単のため、非標準相互作用の μ 成分が 0 でかつ τ 成分が高エネルギー大気ニュートリノからの制限により従属変数になるという仮定の元に議論した。その結果、ビームの中心からのずれの角度が小さいほど感度が高くなり、標準的と非標準的の 2 つの CP 非保存位相に対する感度は、T2HKK 実験の方がアメリカの DUNE 実験よりも良いことがわかった。

4) T2HK・T2HKK・DUNE 実験における系統誤差の影響 (安田、ゴッシュ)

将来計画である T2HK 実験、T2HKK 実験、DUNE 実験では、統計量が多いため系統誤差が重要になって来ると期待されている。この研究では、これら 3 つの実験において、ニュートリノの質量階層性、 $\pi/4 - \theta_{23}$ の符号、CP 非保存位相 δ に対する感度の系統誤差の依存性を議論した。又、非標準相互作用に対する感度の依存性も議論した。

5) 軽いステライルニュートリノの (3+1)-スキームにおけるゼロテクスチャが 4 個ある模型の現象論 (ゴッシュ)

複数世代のフェルミオンが存在する時、フェルミオンの質量行列は一般に異なる世代の間に成分を持つが、特定の質量行列の成分が 0 となる場合をゼロテクスチャと呼び、背後にある対称性を現していると

考えられている。この研究では、三世代に軽いステライルニュートリノ 1 個を加えた、いわゆる (3+1)-スキームにおいて、質量行列にテクスチャが 4 個ある場合の現象論を、ニュートリノの質量階層性と無ニュートリノ二重ベータ崩壊を中心に議論した。

6) 軽いステライルニュートリノを含む拡張されたシーソー模型の現象論 (ゴッシュ)

eV 程度の質量を持つ軽いステライルニュートリノは LSND 実験、MiniBooNE 実験、短基線原子炉実験、ガリウムによる太陽ニュートリノの較正実験の結果からその存在が示唆されており、現在も研究されている粒子である。この研究では、そのような軽いステライルニュートリノ 1 個を含む I 型の拡張されたシーソー模型において、自由度を減らすためにゼロテクスチャを導入し、現実的な振動パラメーターを再現するような解を探した。そのような解は $Z_8 \times Z_2$ という不連続群から得られることがわかった。

7) 弦模型における超対称性の自発的破れの機構 (北澤)

超弦理論における超対称性の破れのひとつとして “brane supersymmetry breaking” と呼ばれるものがある。その最も簡単な例として、タイプ I 型理論によく似た杉本模型というものがある。この模型は超対称性が全く存在しない安定な模型であることが知られている。この模型の開いた弦のゼロ質量粒子に対応する状態の中に超対称性の自発的破れを意味する南部・ゴールドストーン粒子が存在するが、対応するゲージ粒子である重力微子は質量を獲得し得ないことが知られている。なぜなら重力微子は Majorana-Weyl fermion なので Lagrangian に質量項を書くことができないからである。つまり、起きていると期待される超ヒッグス機構が未だに理解されていない。

杉本模型には実は宇宙項があり、したがって時空間は平坦でないド・ジッター時空と呼ばれるものになることに着目し、通常平坦な時空間におけるヒッグス機構の理解をそのまま持ち込んではいけなことを指摘した。すなわち、ド・ジッター時空における質量の定義は平坦な時空における定義とは異なることにより、重力微子がゼロ質量のまま南部・ゴールドストーン粒子の自由度を吸収できることを指摘した。

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。

8) 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) における異常な振る舞い (標準的な Λ CDM 模型の予言からのずれ) について昨年度に引き続き研究を行った。PLANCK 実験の公式観測データを用い、宇宙背景輻射の観測の際に重要である「銀河マスク」(背景輻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) の大きさを変えながら、長波長領域の角度依存性の偶奇成分を分離して異常な振る舞いについて調べた。その結果、偶成分は銀河マスクの大きさに関係なく長波長になるほど Λ CDM 模型からずれて減衰するのに対し、奇成分は銀河マスクが大きい場合には偶成分と同様な振る舞いをするが、銀河マスクが小さい場合 (銀河面からの影響を受けやすい場合) にはそのような減衰傾向を示さないことがわかった。この結果は、異常な振る舞いがインフレーションの初期に偶奇の区別なく作られ、銀河面の近くには奇成分に汚染があると理解される。これは、長波長領域における Λ CDM 模型の予言からずれた減衰、すなわちインフレーションの始まりが見えていることのさらなる証拠になる。

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.Grappuso 氏と P.Natoli 氏との共同研究である。

9) BファクトリーにおけるQCDインスタントン効果の検証 (北澤、酒井)

軽い中間子の質量の実験値を用いた軽い中間子の物理を記述するカイラル模型のパラメーターの決定を通じて、インスタントン効果という強い相互作用 (QCD) の非摂動論的效果の大きさを見積もることができる。その結果、インスタントン効果の大きさは、アップクォークの質量がゼロということで「強いCPの破れ」の問題を解決できるほどには大きくはないという事実が知られている。同じ考え方で、重いボトムクォークを含む重い中間子を用いた重い中間子の物理を記述する重中間子有効理論のパラメーターの決定を通じて、インスタントン効果の大きさへの制限を与えることができることを示した。その制限は軽い中間子からのものと同程度であることがわかり、将来のBファクトリー実験によってその制限をさらに厳しくできる可能性があることがわかった。

2. 研究業績

1) 論文

Naoyuki Haba, Hiroyuki Ishida, Noriaki Kitazawa and Yuya Yamaguchi, A new dynamics of electroweak symmetry breaking with classically scale invariance, *Physics Letters* **B755** (2016) 439–443.

Debasish Borah, Monojit Ghosh, Shivani Gupta, Suprabh Prakash, Sushant K. Raut, Analysis of four-zero textures in the 3+1 neutrino framework, *Physical Review D* **94** (2016) 113001.

Shinya Fukasawa, Osamu Yasuda, The possibility to observe the non-standard interaction by the Hyperkamiokande atmospheric neutrino experiment, *Nuclear Physics* **B914** (2017) 99–116.

Monojit Ghosh, Srubabati Goswami, Sushant K. Raut, Implications of $\delta_{CP} = -90^\circ$ towards determining hierarchy and octant at T2K and T2K-II, *Modern Physics Letters* **A32** (2017) 1750034.

Shinya Fukasawa, Monojit Ghosh, Osamu Yasuda, Sensitivity of the T2HKK experiment to nonstandard interactions, *Physical Review D* **95** (2017) 055005.

Newton Nath, Monojit Ghosh, Srubabati Goswami, Shivani Gupta, Phenomenological study of extended seesaw model for light sterile neutrino, *Journal of High Energy Physics* **1703** (2017) 075.

Shinya Fukasawa, Monojit Ghosh, Osamu Yasuda, Complementarity Between Hyperkamiokande and DUNE in Determining Neutrino Oscillation Parameters, *Nuclear Physics* **B918** (2017) 337–357.

2) 国際会議報告

Osamu Yasuda, The KTY formalism and nonadiabatic contributions to the neutrino oscillation probability, *Nuclear and Particle Physics Proceedings* **273–275** (2016) 1789–1794.

Osamu Yasuda, Constraints on the flavor-dependent non-standard interaction in propagation from atmospheric neutrinos, *Journal of Physics: Conference Series* **718** (2016) 062072.

3) 学会講演

● 日本物理学会 2016 年秋季大会 2016 年 9 月 21 日 – 24 日 (宮崎大学)

深澤信也, 安田修: 大気ニュートリノ実験からくる異なったパラメトリゼーションの非標準相互作用への制限

- 日本物理学会 第72回年次大会 2017年3月17日 - 20日 (大阪大学)

安田修: 将来のニュートリノ実験で期待される物理 —CPの破れ・非標準相互作用— (招待講演)

国内研究会

- “KEK 理論センター夏の合宿” 2016年08月04日-2016年08月07日 (長野県安曇野市)

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

- ニュートリノフロンティア研究会 2016年11月28日-30日, 山代温泉 ゆのくに天祥

M. Ghosh: Tensions in the current neutrino data and non-standard interactions

国際会議

- 3rd International Meeting on Large Neutrino Infrastructures, 30-31 May 2016, KEK, Japan

O. Yasuda: Synergy of T2HK & DUNE (invited talk)

- The XXVII international conference on neutrino physics and astrophysics (Neutrino2016), 4-9 July 2016, Imperial collage London, UK

S. Fukasawa: Sensitivity of atmospheric neutrino experiments to neutrino non-standard interactions (poster)

- 12th Rencontres du Vietnam (NuFact 2016), 21-27 August 2016, ICISE, Quy Nhon, Vietnam

O. Yasuda: Complementarity Between Hyperkamiokande and DUNE (invited talk)

O. Yasuda: Will atmospheric neutrino experiment at Hyper-Kamiokande see non-standard interaction effects?

M. Ghosh: Reason for T2K to run in dominant neutrino mode for detecting CP violation (poster)

- Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2016), 4-11 September 2016, Otranto, Lecce Italy

O. Yasuda: Possible observation of the non-standard interaction effects at Hyperkamiokande

- The First Workshop on the Second Hyper-Kamiokande Detector in Korea, 21-22 November 2016, Seoul National University, Seoul, South Korea

M. Ghosh: Sensitivity of T2HKK to non-standard interaction (invited talk)

- XXII DAE-BRNS HIGH ENERGY PHYSICS SYMPOSIUM 2016, 12-16 December 2016, University of Delhi, Delhi, India

M. Ghosh: Reason for T2K to run in dominant neutrino mode for detecting CP

- A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2016), 14-20 December 2016, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: Is nonstandard interaction a solution to the three neutrino tensions?

● Meeting for the Second Hyper-K Tank in Korea, 16 February 2017, Kavli IPMU, The University of Tokyo, Japan

M. Ghosh: Effect of systematics in T2HKK and DUNE

● DUNE near detector workshop, 27–29 March 2017, Fermilab, USA

M. Ghosh: Role of DUNE near detector to reduce Systematic Uncertainty