

素粒子理論研究室

1. 研究活動の概要

1) 太陽ニュートリノ-カムランド間の齟齬から示唆される非標準相互作用に対する T2HK と DUNE の感度 (安田, ゴッシュ)

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ある。特に、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約 2σ 異なっている点は研究者の関心を集めている。この質量二乗差の違いは、ニュートリノ伝播に影響を与えるフレーバー依存性のある非標準相互作用により説明ができることが知られている。この研究では、太陽ニュートリノ実験・カムランド実験の齟齬から示唆される非標準相互作用の許容領域に対して、近未来の長基線実験である T2HK と DUNE が、どれだけ感度を持つのかを調べた。結果は、非標準相互作用の最適解に対しては 3σ 以上の有意度で検証が出来ること、ハイパーカミオカンデにおける大気ニュートリノ観測 (HK) と二者を比較すると、非標準相互作用に対する感度は、 $HK > DUNE > T2HK$ の順に良いことがわかった。

2) 非標準相互作用に対する T2HK の感度の詳細な研究 (安田, ゴッシュ)

これまでの首都大グループによる長基線実験の非標準相互作用に対する感度の研究では、非標準相互作用を特徴付けるパラメーター $\epsilon_{\alpha\beta}$ ($\alpha, \beta = e, \mu, \tau$) に対して、(i) μ 成分が小さいという条件式 ($|\epsilon_{\alpha\mu}| \ll 1$) と、(ii) 大気ニュートリノの高エネルギー事象から示唆される関係式 $(1 + \epsilon_{ee})\epsilon_{\tau\tau} = |\epsilon_{e\tau}|^2$ の両方を仮定して解析が行われていた。この研究では (ii) の条件を仮定せずに解析を行い、(ii) を仮定した場合と比較してどの程度許容条件が広がるかを議論した。

3) T2HK と μ -DAR の組み合わせによる振動パラメーターに対する感度 (ゴッシュ)

ニュートリノ振動の標準的三世代の枠組みでは3つの混合角、2つの質量自乗差と質量パターン (=絶対値の大きな方の質量自乗差の符号)、1つの CP 非保存の位相 δ が振動パラメーターとなっている。現在までに、3つの混合角と2つの質量自乗差の絶対値の値はすでにほぼ測定されており、質量パターン、 δ 、大気ニュートリノの混合角 $\theta_{23} - \pi/4$ の符号の決定が現在のニュートリノ振動実験の課題となっている。一般に質量パターンは、いわゆる物質効果を通して決定するのが標準的であり、物質効果の測定には、基線の長さが 1000km 以上の長基線実験が必要であると考えられている。この研究では、基線長が 300km しかない T2HK 実験と、その近くに小型加速器 (サイクロトロン) を設置してそこからの μ 粒子の崩壊により発生する反ニュートリノを源として実験した場合の測定精度を議論した。このような設定では、サイクロトロンなしの場合よりも質量パターンと $\theta_{23} - \pi/4$ の符号に関する感度が増大することがわかった。この研究はインドバネーシュワル物理学研究所の S.K. Agarwalla 氏と韓国・基礎科学研究院の S.K. Raut 氏との共同研究である。

4) (3+1)-スキームの低エネルギーマヨラナ型質量行列のゼロ行列要素の研究 (ゴッシュ)

ニュートリノの質量は、標準模型を超える物理で初めて現れる量であるが、そのためには右巻きニュートリノの存在が必要である。左巻き・右巻きニュートリノの両方がある場合には、自由度の数が低エネルギーで測定できる物理量の数よりも多く、一般に物理現象を予言することがむずかしくなる。そこで、予言能力をもたせるには質量行列の一部の行列要素がゼロであるという仮定を置いて、現象論を展開することがしばしば行われている。一方、これまでに標準的な三世代のニュートリノ混合では説明できない現象がいくつか報告されており (LSND 実験, MiniBooNE 実験, 原子炉ニュートリノ異常, ガリウムニュー

トリノ異常と呼ばれる一連の現象), 第四番目のニュートリノ (過去の LEP 実験から弱い相互作用をするニュートリノは3種類しかないことが知られているため, 第四番目のニュートリノは弱い相互作用をしないステライルニュートリノと呼ばれている) を導入する (3+1)-スキームと呼ばれる枠組みが議論されている. この研究では, これまで議論されて来なかった (3+1)-スキームのニュートリノの質量行列のゼロ行列要素の個数に対する制限を議論した. その結果, ゼロ行列要素は高々5つしか存在できず, ゼロ行列要素が5つある場合には一つの可能性しか, 実験を説明できないことがわかった. この研究はインド工科大学グワーハーティー校の D. Borah 氏, アデレード大学の S. Gupta 氏, 韓国・基礎科学研究院の S.K. Raut 氏との共同研究である.

5) ステライルニュートリノが存在する場合の NO ν A 実験におけるパラメーター縮退と質量パターンへの感度 (ゴッシュ)

パラメーター縮退とは, あるエネルギーのニュートリノをある基線長で $\nu_\nu \rightarrow \nu_e$ と $\bar{\nu}_\nu \rightarrow \bar{\nu}_e$ の両方の確率を測定したとしても, 3世代の全ての振動パラメーター (特に未定の CP 位相 δ) を一意的に決定することは一般的にはできない, という現象である. 一方, 最近の長基線実験の結果は, 正常階層性の質量パターンと $\delta \simeq -\pi/2$ を示唆しているが, このように一意的に結論が得られている理由は, 許容領域がパラメーター縮退の起こらない領域であるためであると考えられている. この研究ではステライルニュートリノが存在した場合にこのパラメーター縮退がどうなるかを議論した. その結果, ステライルニュートリノが存在する場合には, 新たな CP 位相 δ_{14} が現れるため, 質量パターンと δ_{14} に関する新たな縮退, $\theta_{23} - \pi/4$ の符号と δ_{14} に関する新たな縮退が存在することがわかった. 前者 (後者) はニュートリノと反ニュートリノとで異なる (同様の) 振る舞いをするために, ニュートリノと反ニュートリノのチャンネルを組み合わせることにより縮退が解決出来る (縮退は解決出来ない) ことがわかった. この研究はアデレード大学の S. Gupta 氏, Z.M. Matthews 氏, P. Sharma 氏, A.G. Williams 氏との共同研究である.

6) 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機構のひとつとして “brane supersymmetry breaking” と呼ばれるものがあり, 杉本模型はその機構を実現する最も簡単な模型のひとつである. 杉本模型では実は超対称性は全く存在しないわけではなく, 非線形に表現されていることが知られており, 通常の意味でのヒッグス機構によってゲージ粒子である重力微子が質量を獲得することが期待される. しかしながら, この模型の運動方程式は非自明な背景時空の存在を要求するために質量の定義が自明でない. ドジッター時空における質量が共形不変性によって定義され, 質量がない場合にはそれを宇宙論的な観点から判断できることを見出し, それを杉本模型に応用することによってこの模型の重力微子が質量を獲得しないことを証明した.

7) 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) における抑制 (標準的な Λ CDM 模型の予言と比較して) について, PLANCK 実験の公式観測データを用い, 昨年度に引き続き研究を行った. 長波長領域の角度依存性の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を, 宇宙背景輻射の長波長の偏極のデータと重力レンズのデータを新たに考慮して確認した.

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, P.Natoli 氏, 及び M.Lattanzi 氏との共同研究である.

8) 境界のないコンパクトな空間における電磁放射 (北澤)

3次元空間ではあるが、そのうちの2方向について境界条件が課されてコンパクトになっている空間内での、円運動する荷電粒子による電磁放射を調べた。3次元空間のうちの2方向が壁によって制限されているような場合(導波管のような場合)とは境界条件が異なる。2方向が極めて小さくコンパクト化されている場合、特に電磁放射の典型的な波長より小さい場合には、その2方向に電磁放射はなく、残るコンパクトでない1次元方向に電磁放射が絞られることを見出した。

この研究は高エネルギー加速研究機構の磯氏と横尾氏との共同研究で、超弦理論におけるコンパクト空間内でのD-braneの運動にともなう重力放射の研究の予備研究である。

9) 公転するD-brane上におけるローレンツ対称性の破れ (北澤)

超弦理論における公転するD-braneの系を、そのD-braneが静止して見えるような回転座標系から見ると、D-brane上の場の分散関係にローレンツ対称性の破れが現れることを明らかにした。それはD-braneの位置を表す自由度に現れ、光速よりも早く伝播するよう見える。因果律の破れが懸念されるが、元の系は単純なD-braneが公転する系なので、因果律は破れていないはずである。実際、この効果は回転によって場の振幅が周期的に変動する効果の現れであって、因果律は破れないことを明らかにした。

この研究は高エネルギー加速研究機構の磯氏との共同研究で、公転するD-braneを素粒子の電弱対称性の自発的破れに応用するための予備研究である。

10) B中間子の2体ハドロン崩壊を用いた $|V_{cb}|$ の決定 (北澤, 増川, 酒井)

B中間子の2体ハドロン崩壊を用いてカビボ小林増川行列の要素のひとつである $|V_{cb}|$ を決定する新しい方法を提案した。正確に決定されているB中間子のsemi-leptonic崩壊の形状因子とisospin対称性によって関係がついている3つの2体ハドロン崩壊モードの分岐比を用いることによって、 $|V_{cb}|$ とハドロンのfinal state interactionの位相を同時に決定できることを示した。特定のハドロン模型によらないことがこの方法の特徴である。

2. 研究業績

1) 論文

Satoshi Iso, Noriaki Kitazawa and Sumito Yokoo, Electromagnetic Radiation in a Semi-Compact Space, *Physics Letters* **A382** (2018) 541-547.

Noriaki Kitazawa and Yuki Sakai, An approach to the instanton effect in B system, *International Journal of Modern Physics* **A33** (2018) 1850017.

Monojit Ghosh, Shivani Gupta, Zachary M. Matthews, Pankaj Sharma, Anthony G. Williams, Study of parameter degeneracy and hierarchy sensitivity of NOvA in presence of sterile neutrino, *Physical Review D* **96** (2017) 075018.

Noriaki Kitazawa, On D-brane dynamics and moduli stabilization, *Modern Physics Letters* **A32** (2017) 1750150.

Debasish Borah, Monojit Ghosh, Shivani Gupta, Sushant K. Raut, Texture zeros of low-energy Majorana neutrino mass matrix in 3+1 scheme, *Physical Review D* **96** (2017) 055017.

Monojit Ghosh, Osamu Yasuda, Effect of systematics in T2HK, T2HKK and DUNE, *Physical Review D* **96** (2017) 013001.

2) 国際会議報告

Osamu Yasuda, The sensitivity of the T2HKK experiment to the flavor-dependent non-standard interactions, *PoS NuFact2017* (2018) 131.

Osamu Yasuda, NSI at Hyper-Kamiokande *PoS NOW2016* (2017) 029.

Newton Nath, Monojit Ghosh, Srubabati Goswami, What antineutrinos can tell about octant and δ_{CP} in DUNE? *PoS ICHEP2016* (2017) 979.

3) 学会講演

● 日本物理学会 2017 年秋季大会 2017 年 9 月 12 日 – 15 日 (宇都宮大学)

酒井裕企, 北澤敬章: B メソン系におけるインスタントン効果へのアプローチ

● 日本物理学会 第 73 回年次大会 2018 年 3 月 22 日 – 25 日 (東京理科大)

増川京佑, 北澤敬章: B 中間子の 2 体ハドロニック崩壊による $|V_{cb}|$ の決定

安田修, Monojit Ghosh: 太陽ニュートリノから示唆される非標準相互作用の T2HKK と DUNE による検証可能性

国内研究会

● 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会 (2017) 2017 年 12 月 11 日–13 日, 滋賀県琵琶湖グランドホテル (おごと温泉)

M. Ghosh: Physics potentials of the future neutrino oscillation experiments

国際会議

● The close out meeting of the Unification and Development of the Neutrino Science Frontier, 5-6 March 2018, Kyoto University, Japan

O. Yasuda: New developments in neutrino oscillation phenomenology and search for new physics

● A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2017), 13–19 December 2017, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: Testing NSI suggested by the solar neutrino tension in T2HKK and DUNE

M. Ghosh: A hybrid setup for fundamental unknowns using T2HK and μ -DAR

● 19th International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NUFACT2017), 25–30 September 2017, Uppsala, Sweden

O. Yasuda: The sensitivity of the T2HKK experiment to the flavor-depednent non-standard interactions

M. Ghosh: Parameter degeneracy and hierarchy sensitivity of NOvA in presence of sterile neutrino

● INTERNATIONAL SCHOOL OF NUCLEAR PHYSICS, 39th Course, 16–24 September 2017, Erice, Sicily, Italy

O. Yasuda: Sensitivity of the T2HKK experiment to the non-standard interaction

M. Ghosh: Complementarity Between Hyperkamiokande and DUNE

● 18th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, 24–30 August 2017, Moscow, Russia

M. Ghosh: Sensitivity of the T2HKK experiment to the non-standard interactions

4) 学会誌等

安田修：ニュートリノと素粒子物理

数理科学(サイエンス社) 2018年1月号 No.655, p25.