

# 素粒子理論サブグループ

## 1. 研究活動の概要

### 1) 神岡・韓国2検出器系を用いた非標準的なニュートリノ物理の探索 (南方)

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ニュートリノを含むフェルミオンの4体有効相互作用(以下では非標準的相互作用と呼ぶ)を仮定し、この効果をニュートリノ振動を使って探索する可能性がここ数年世界中で盛んに議論されている。我々も昨年度にはニュートリノファクトリーを用いる探索法とこれにまつわる問題点について議論した。今年度は2005年に梶田・南方等によって提唱された「神岡・韓国2検出器系」の設定で上記の非標準的相互作用の他、ローレンツ不変性の破れなどの新しい物理の効果がどう取り出せるかについて議論し、またこの感度評価を行った。量子論的なコヒーレンスの破れや特定のタイプのローレンツ不変性の破れに対して高い感度が期待できることを示した。ミュウ・タウニュートリノチャンネルにおける非標準的相互作用の探索には神岡・韓国2検出器系が有利であることを指摘し、これを用いて非標準的相互作用の探索感度に関する研究を行った。

(東京大学宇宙線研究所 梶田隆章氏、中山昭英氏、コリア高等研究所 Pyungwon Ko 氏、リオデジャネイロカトリック大学 布川弘志氏、Nei Cipriano Ribeiro 氏との共同研究)

### 2) 非標準的相互作用の存在する系でのニュートリノ振動の摂動論 (菊地・南方・内波)

ニュートリノの非標準的相互作用が存在する場合のニュートリノ振動現象の多様性を統一的に理解できるような摂動論的枠組みを提出した。セルベラ達の公式として知られる最も広く使われている摂動論の枠組みを拡張し、非標準的相互作用を含めた定式化を行い、全てのチャンネルにおいて摂動の2次(電子ニュートリノ関係3次)までの振動確率公式を導いた。驚くべきことに結果は簡単で、標準的な場合の大気・太陽変数を、それぞれ非標準的相互作用を含む一般化された変数で置き換えるだけでよいことが分った。この枠組みの中でパラメータ決定の問題、標準的・非標準的相互作用パラメータ間の混乱の問題についての一般的・包括的理解を得た。さらに、非標準的相互作用を含む系におけるパラメータ縮退の問題を議論し、通常型の縮退が非標準的相互作用パラメータを含む形で拡張されることを示すとともに、非標準的相互作用系の特徴に由来する全く新しい形のパラメータ縮退を発見した。

### 3) ニュートリノファクトリーにおける不活性ニュートリノ探索の現象論 (安田・婦木)

1990年代半ばのLSND実験の結果により示唆された4世代目の不活性ニュートリノのシナリオは、2007年に発表されたMiniBooNE実験の否定的結果により排除されたと考えられている。しかし、MiniBooNEを含むこれまでの否定的な諸実験の結果から受ける制限を全てみたくような不活性ニュートリノのシナリオはまだ排除されている訳ではなく、将来計画されているニュートリノの精密測定実験において検証できるユニタリー性の破れの可能性を予言する。この研究では、将来計画として構想されているニュートリノファクトリーにおいて、上記の条件をみたく(3+1)-スキームと呼ばれる不活性ニュートリノのシナリオがどの程度制限されるかについて議論した。特に、ミュウニュートリノからタウニュートリノへのチャンネル(この研究によりディスカバリーチャンネルと命名された)の変換確率は従来ほとんど解析されていなかったが、非標準的なシナリオを議論する場合には重要であることを指摘し、詳細な解析を行った。その結果、標準シナリオにはない混合角の上限値が、それぞれ現在の値の半分程度まで改善することがわかった。(上記課題はマドリッド自治大学のドニー二氏・ロペス・パボン氏、ローマ大学のメローニ氏との共同研究)

#### 4) 銀河超新星ニュートリノ観測におけるパラメータ縮退 (南方)

将来起きると期待される天の川銀河内の超新星爆発のニュートリノ観測に関する研究を行った。水チェレンコフ検出器を用い、支配的である反電子ニュートリノを捉えるチャンネルに限った議論を行った。スペクトルのゆがみパラメータを含むイベント再構成フィットを行うと連続的なパラメータ縮退が生じることを発見した。この縮退は真剣にその計画が議論されているハイパーカミオカンデなどのメガトン級の水チェレンコフ検出器によっても解けない「頑健」なものであることも示した。この結果は、将来の銀河超新星ニュートリノの観測に備えて、水チェレンコフ検出器に相補的な検出器を準備する必要性を強く示唆している。

(リオデジャネイロカトリック大学 布川弘志氏、バレンシア大学 Jose W. F. Valle 氏、ハンブルグ大学 Ricard Tomàs 氏との共同研究)

#### 5) 質量に対する弦の量子補正における NS-NS タドポール問題の回避 (北澤)

超対称性のない弦模型においては、一般に「NS-NS タドポール」というものが存在し、例えば素粒子の質量などの物理量への弦の量子補正を計算しようとした場合に赤外発散をもたらす。超対称性のない弦模型においては、古典的には質量のないスカラー粒子が弦の量子効果によって質量を持つはずであり、特にその2乗が負になるような状況が実現できれば、自然な「電弱対称性の自発的破れ」に応用できる。昨年度に開発した“tadpole resummation”というこの問題を回避する手法を質量への量子補正に応用すべく定式化を行った。この手法は“boundary state formalism”を基礎としており、弦理論に基づく素粒子模型の構成要素であるDブレーンを閉じた弦の“boundary state”として表現するが、質量の計算にあたっては、これを拡張した“スカラー場の背景場を含む boundary state”を新たに構成する必要があった。

#### 6) 低スケール弦模型の可能性 (北澤)

素粒子の世界において「電弱対称性の自発的破れ」が実際に起きていることは実験において検証されている。しかし、素粒子の「標準模型」ではそれを起こすスカラー粒子であるヒッグス粒子を「手で」入れてその質量の2乗を負に「手で」設定している。このような恣意的な状況を、弦理論に基づく模型では打開できる可能性がある。上記の項目で述べた可能性(弦の量子補正による「電弱対称性の自発的破れ」)は非常に興味深く、弦のエネルギースケールが TeV 程度になるという大雑把な予言ができる。一方、弦のエネルギースケールは重力相互作用の実現を通じて「コンパクト化」された余剰次元(4次元目以降の空間次元)の大きさに関係しており、その大きさには天体観測等から制限がついている。それによると TeV 程度の弦のエネルギースケールの可能性は排除されかかっている。しかしながら、弦のエネルギースケールが TeV 程度になるという予言はあくまで大雑把なもので、NS-NS タドポール問題の回避の研究をしている過程で、弦のエネルギースケールが TeV より大きくても自然な「電弱対称性の自発的破れ」を実現できる可能性に気がついた。これを、具体的な模型を構成して示そうと試みた(進行中)。また、このような低スケール弦模型においては、「フレイバーを変える中性カレント (FCNC)」の問題が深刻であることに気がつき、これについても系統的な理解を求めて研究を行った(進行中)。

#### 7) 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 (北澤)

超対称性を持たない弦理論においては、非常に特殊な設定をしなくても、自動的に宇宙のインフレーションが起きる可能性がある。これは指数関数型のポテンシャルにしたがう「ディラトン場」が必然的に指数関数のポテンシャルの壁を上るような解が存在しないことによる。この新しい機構が、これまでに提案されている宇宙のインフレーションの様々な模型と比較して、どの程度有利なものであるか検討した。その結果、残念ながら非常に有利な事柄があるわけではないことが判明した。そこで、宇宙論

への応用ではなく、超対称性のない弦理論についての意味を考察する方向に切り替えた。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、まだ進行中のものである。

## 8) LHC 加速器を用いた実験による大きな余剰次元のシナリオの検証 (生田目)

近年、素粒子と重力を記述する新たなモデルの候補として大きい余剰次元の存在を仮定するいくつかのモデルが議論されている。その中で最も単純なモデルである Arkani-Hamed と Dimopoulos – Dvali のモデル (ADD 模型) の LHC 加速器を用いた実験による検証方法について研究を行った。本研究ではモデルに無限個含まれる Kaluza-Klein 重力子 (重力を媒介する質量を持った粒子) が媒介する 2 つの陽子を衝突させ 2 つの荷電レプトンを生成する過程について検証し、この過程の散乱断面積が非物理的な振る舞いであることを明らかにした。具体的には、計算して得られた散乱断面積は遠距離力である強い重力相互作用による散乱過程の散乱断面積であるにも関わらず、スピンの 2 の非常に重い粒子が媒介する近距離力による散乱過程の散乱断面積と同じ振る舞いをする。本研究により、この問題の原因が散乱断面積を求める際に生じる、余剰次元方向の運動量の二重足し上げにあることが明らかになった。(論文執筆中)。

## 2. 研究業績

### 1) 論文

N. Cipriano Ribeiro, T. Kajita, P. Ko, H. Minakata, S. Nakayama, and H. Nunokawa:  
Probing Nonstandard Neutrino Physics by Two Identical Detectors with Different Baselines, *Physical Review D* **77** (2008) 073007-1-12.

N. Haba, N. Kitazawa and N. Okada:  
Invisible Technicolor, *Acta Physica Polonica* **B40** (2009) 67-74.

T. Kikuchi, H. Minakata, and S. Uchinami:  
Perturbation Theory of Neutrino Oscillation with Nonstandard Neutrino Interactions, *Journal of High Energy Physics* **03** (2009) 114-1-49.

N. Kitazawa:  
One-Loop Masses of Open-String Scalar Fields in String Theory, *Journal of High Energy Physics* **09** (2008) 049-1-27.

H. Minakata, H. Nunokawa, R. Tomas and J. W. F. Valle:  
Parameter Degeneracy in Flavor-Dependent Reconstruction of Neutrino Fluxes in Supernova, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **12** (2008) 006-1-23.

### 2) 国際会議報告

H. Minakata: Phenomenology of Future Long-Baseline Neutrino Experiments, *Journal of Physics: Conference Series* **136** (2008) 022017.

H. Minakata: Probing Non-Standard Neutrino Physics at Neutrino Factory and T2KK, in “Venice 2008, Neutrino oscillations in Venice”, pp 361-380, edited by Milla Baldo Ceolin.

T. Kajita and H. Minakata: Highlights in the T2KK Workshops in 2005 and 2006, in *Far Detector in Korea for the J-PARC Neutrino Beam*, pp 3-14, edited by T. Kajita and S.-B. Kim (Universal Academy Press, Tokyo, 2008).

N. Cipriano Ribeiro, T. Kajita, P. Ko, H. Minakata, S. Nakayama, H. Nunokawa: Probing Nonstandard Neutrino Physics at T2KK, in *Far Detector in Korea for the J-PARC Neutrino Beam*, pp 97-108, edited by T. Kajita and S.-B. Kim (Universal Academy Press, Tokyo, 2008).

H. Minakata: Long Baseline Neutrino Experiments with Two-Detector Setup, *International Journal of Modern Physics A*, **23** (2008) 3388-3394. arXiv:0710.2926 [hep-ph].

H. Minakata: Looking for Leptonic CP Violation with Neutrinos, *Acta Physica Polonica B* **39** (2008) 283-294.

N. Cipriano Ribeiro, T. Kajita, P. Ko, H. Minakata, S. Nakayama, H. Nunokawa: Non-Standard Neutrino Physics Probed by Tokai-to-Kamioka-Korea Two-Detector Complex, in "Particle Physics on the Eve of LHC", pp 160-165, edited by A. I. Studenikin, World Scientific, Singapore, 2009.

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.

O. Yasuda: Non oscillation flavor physics at future neutrino oscillation facilities, *Proceedings Of Science NUFACT08* (2008) 016-1-8.

S. Uchinami: Probing Non-Standard Neutrino Physics at T2KK and Neutrino Factory, *Proceedings Of Science NUFACT08* (2008) 056-1-5.

K. Fuki, A. Donini, D. Meloni, J. Lopez-Pavon, O. Yasuda: Sterile neutrino oscillation at a neutrino factory, *Proceedings Of Science NUFACT08* (2008) 123.

O. Yasuda and A. Donini: Signatures of sterile neutrino mixing in high-energy cosmic neutrino flux, *Proceedings Of Science NUFACT08* (2008) 146-1-3.

### 3) 学会講演

日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日 ~ 26 日 (近畿大学本部キャンパス)

N. Cipriano Ribeiro, 南方久和、布川弘志、内波生一、R. Zukanovich Funchal: Probing Non-Standard Neutrino Interactions with Neutrino Factories

日本物理学会 2008 年秋季大会 2008 年 9 月 20 日 ~ 9 月 23 日 (山形大学)

婦木 健一 : 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の効果

生田目春香 : ADD 模型の仮想 Kaluza-Klein 重力子交換過程における新たな問題について

### 国内研究会

KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEKPH09)

(高エネルギー加速器研究機構, 3 月 3 日 - 3 月 6 日)

H. Namatame: A New Problem of Virtual Kaluza-Klein graviton exchanges

### 国際会議

IV International Workshop on Neutrino Oscillations in Venice, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Palazzo Franchetti, Campo S. Stefano, Venice, April 15-18, 2008

- H. Minakata: Probing Non-Standard Neutrino Physics at Neutrino Factory and T2KK (Invited Talk)  
XXIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2008)  
Christchurch, New Zealand, May 25-31, 2008
- H. Minakata: Phenomenology of Future Long-Baseline Neutrino Experiments (Invited Talk)  
Melbourne Neutrino Theory Workshop, Melbourne, Australia, June 2-4, 2008
- N. Cipriano Ribeiro, H. Minakata, H. Nunokawa, S. Uchinami, R. Zukanovich Funchal  
(speaker underlined): Probing Non-Standard Neutrino Interactions with Neutrino Factories  
The international Design Study for the Neutrino Factory Second Plenary Meeting  
Fermilab, USA, June 10-12, 2008
- N. Cipriano Ribeiro, H. Minakata, H. Nunokawa, S. Uchinami, R. Zukanovich Funchal  
(speaker underlined): Probing NSI with a Neutrino Factory (Invited Talk)  
10th International Workshop on the Neutrino Factories, Superbeams, and Beta Beams,  
Valencia, Spain, June 30-July 5, 2008
- O. Yasuda: Non oscillation flavor physics at future neutrino oscillation facilities (Invited talk)
- S. Uchinami: Probing Non Standard Neutrino Physics at T2KK and Neutrino Factory (Invited talk)
- A. Donini, K. Fuki, J. Lopez-Pavon, D. Meloni and O. Yasuda: Sterile neutrino oscillation at a neutrino  
factory (Poster)
- O. Yasuda and A. Donini: Signatures of sterile neutrino mixing in high-energy cosmic neutrino flux  
(Poster)  
Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2008), Conca Specchiulla, Otranto, Lecce, Italy,  
September 6-13, 2008
- S. J. Parke, H. Minakata, H. Nunokawa, and R. Zukanovich Funchal (speaker underlined): Mass  
Hierarchy via Mössbauer and Reactor Neutrinos  
A Topical Conference on Elementary Particle Physics and Cosmology,  
Fort Lauderdale, Florida, USA, 16 - 21 December 2008
- O. Yasuda: Signatures of sterile neutrino mixing in high-energy cosmic neutrino flux (Invited talk)  
XIII International Workshop on Neutrino Telescopes, Istituto Veneto di Scienze,  
Lettere ed Arti, Venice, Italy, March 10-13, 2009
- H. Minakata: Neutrino's Non-Standard Interactions; Another Eel under a Willow? (Invited Talk)