

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：22604

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2013～2017

課題番号：25105009

研究課題名(和文)ニュートリノ振動現象論の新展開と新物理の探求

研究課題名(英文)New developments in neutrino oscillation phenomenology and search for new physics

研究代表者

安田 修 (Yasuda, Osamu)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号：50183116

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,400,000円

研究成果の概要(和文)：将来の長基線実験計画のHKとDUNEを組み合わせた場合の測定精度を議論し、階層性縮退とoctant縮退が解決できることを示した。非標準相互作用に関して、HK・DUNE・T2HKKの各計画の感度とその感度の系統誤差への依存性・T2HKKのoff-axis角度の最適化について考察することにより将来計画への指針の一助を与えた。軽いステライルニュートリノの新たなCP位相による新しい種類の縮退を発見した。IceCube Gapと μ 粒子の異常磁気能率を説明するモデルを提唱してその現象論を議論し、Belle-II実験・COMET実験・LHC実験・ILC実験でのレプトンフレーバーの破れの可能性を議論した。

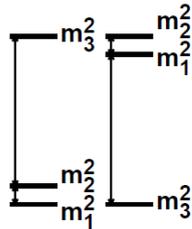
研究成果の概要(英文)：We discussed precision of the future long baseline experiments HK and DUNE, and showed that we can solve the degeneracies of hierarchy and octant. We discussed the sensitivity of HK, DUNE, T2HKK to the non-standard interactions, its dependence on the systematic errors and on the off-axis angle of the T2HKK, and we gave some insight on the future project. We also found new degeneracy which arises from the new CP phase in the presence of light sterile neutrinos. We proposed a new model which accounts for the IceCube Gap and the anomalous magnetic moment of muons and discussed its phenomenology, and discussed the possibility to discover lepton flavor violating processes at Belle-II, COMET, LHC, ILC.

研究分野：素粒子論

キーワード：ニュートリノ振動 標準模型を超える物理 フレーバー混合 レプトンフレーバーの破れ 非標準相互作用

1. 研究開始当初の背景

これまでのニュートリノの実験結果により、ニュートリノに質量と、 ν_e, ν_μ, ν_τ の3種類のフレーバー状態の間の混合の存在が確立され、3つの混合角と2つの質量二乗差のおおよその値が決定され、ニュートリノ物理学における研究は新たな段階に入っている。次なる目標は、現時点での未定パラメーターを決定することであるが、それらは、質量パターン(下図のように2パターンが可能である)、



大気ニュートリノの混合角 θ_{23} の最大混合角からのずれ ($\theta_{23} - \pi/4$ が正か負か0か現在不明; 以下 θ_{23} の octant と呼ぶ)、CP 非保存の位相 δ (全く未定) である。 δ の決定のためには、質量パターンと θ_{23} の octant の決定も必要であることが知られており、これらの量を測定することが重要である。一方、1995年に発表されたロスアラモスの LSND 実験(反ニュートリノのチャンネル反 $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ の探索)の結果は、上記の標準的な3世代のニュートリノ混合の枠組みでは説明できない現象として知られている。LSND の結果をニュートリノ振動で説明するためには、新たなニュートリノを最低一つ導入する必要があり、この新たなニュートリノは、他の実験からの制約から、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るものでなければならないことが知られている。LSND の結果は、Fermilab の MiniBooNE 実験で2002年以来追試が行われて来ているが、MiniBooNE 実験の結果は、同じ実験の中の複数のデータの間でも整合性が取れず、LSND の結果を否定も肯定も出来ない状況にある。その後、標準的な理論では説明できないいくつかの現象が出て、ステライルニュートリノのシナリオは復活の兆しを見せ、現在再び活発に研究が行われている。いくつかの現象とは、(i) 強い制限を与えていた原子炉ニュートリノ実験結果の解析に使われていたフラックス計算の改訂によりステライルニュートリノに対する制限が緩和されたため、過去の原子炉ニュートリノ実験のデータがステライルニュートリノの存在に対して肯定的と解釈されるようになった(原子炉ニュートリノ異常); (ii) ガリウムによる太陽ニュートリノ観測装置の較正実験で3世代振動では説明できないニュートリノの欠損が報告されている(ガリウム異常); (iii) 宇宙背景輻射と宇宙の大規模構造に関する最近の観測結果はニュートリノの世代数が4であることを示唆している、な

どである。LSND から示唆されているステライルニュートリノが存在するのか、又、それが宇宙論から示唆されているものと直接関係あるのかどうかは素粒子論と宇宙論における謎となっている。これらを解決することは重要かつ緊急の課題であり、これらの解決の過程で標準模型の彼方への道が開ける可能性がある。

2. 研究の目的

ニュートリノの質量の存在は、標準模型では説明できない最大の謎の一つであり、その研究により、標準模型を越える物理のヒントが得られると期待されている。現在ニュートリノ混合の3つの混合角と2つの質量二乗差のおおよその値が決定され、ニュートリノ物理学の研究は新たな段階に入ってきている。そこで以下の研究課題を、A01, A02, A03, A04 の各実験班と密接な連携をとりながら進めて行くことが本研究の目的である：(1) ニュートリノの混合のパラメーター(質量パターンを含む)の精密決定をするための実験の現象論、(2) ニュートリノで探索できる新物理(ステライルニュートリノを含む)の現象論、(3) 大型加速器実験における荷電レプトンを通して得られる新物理への制約。本研究では、国内のニュートリノの現象論研究者と実験研究者が連携を密に取って研究を進め、その結果からニュートリノ質量の起源の解明と標準模型を越える物理の探求を目指す。

3. 研究の方法

(1) 3世代の混合

ニュートリノ振動の標準的3世代の枠組みでは、質量パターン、 θ_{23} 、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。質量パターン、 θ_{23} の octant、CP 位相が各実験でどの程度決定されるのかを検討し、レプトンフレーバー混合構造の解明を目指す。

(2) 実験で探求できる標準理論を越えた新しい物理

さまざまな観測における非標準相互作用・ステライル ν の検出可能性を定量的に検討し、新しい物理を探るための方法を明らかにする。非標準相互作用が存在する場合には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が無次元パラメーター

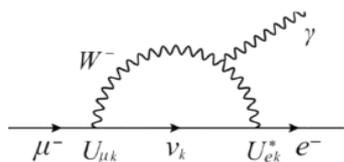
($\epsilon_{\alpha\beta}$, $\epsilon_{\alpha\beta} = \epsilon_{\beta\alpha}$, $\epsilon_{\alpha\alpha} = 0$) で表される。 $\nu_{\alpha\beta}$ の各成分への制約が現在最も弱く、これらのパラメーターへの制限を改善することで、新しい物理のヒントが得られる可能性がある。

ステライル ν のシナリオに関してはパラメーター縮退の構造等を明らかにする。

(3) 大型加速器実験において新物理の発見により予測される事象の現象論

ニュートリノの質量が0であると仮定されている標準模型ではレプトンフレーバーが厳密に保存する。かりにニュートリノに小さ

い質量が存在しても、たとえば μ e の分岐比は



という過程から

$$BR(\mu \rightarrow e \gamma) \sim (m_\nu/m_W)^4 < 10^{-54}$$

というような極端に小さい値が予言され、もしこの過程が実験で観測されれば新しい物理を発見したことになる。この研究では将来の長基線実験で非標準相互作用が発見された場合、電弱対称性から期待される LHC や ILC 等での新規な粒子の生成可能性や Belle2 でのタウフレーバーの破れ等の検出可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) ニュートリノ混合の標準的枠組みの現象論

(1-1) ハイパーカミオカンデ(HK)と DUNE 実験の振動パラメーター測定における相補性

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、 θ_{13} の符号、CP 非保存位相 に対する上記 3 つの実験の感度を議論した。

(1-2) 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

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。

(1-3) ニュートリノ振動におけるパラメーター共振

大気ニュートリノ・長基線加速器ニュートリノ実験で高い精度が求められるようになると、地球の物質密度の見積もりが重要になってくる。特に地球のコアを通過するようなニュートリノに対しては、密度 = 一定という近似は悪く、均一性からのずれの効果を取り入れる必要がある。この研究では、三世代のニュートリノ混合の振動確率に均一性からのずれがどのような効果を与えるのかを解析した。

(2) ニュートリノで探索できる新物理の現象論

(2-1) T2HK, DUNE, T2HKK における加速器ニュートリノ, HK での大気ニュートリノ観測の各実験の非標準相互作用に対する感度

T2HK と DUNE 実験、さらには第二の後置検出器を韓国にも置くという T2HKK 実験は、加速器からの大強度ニュートリノビームにより、

標準的枠組みの混合角と質量二乗差を精密に測定できるだけでなく、標準的なシナリオからのずれを探索する能力も持ち合わせている。これら一連の研究ではフレーバーに依存する非標準相互作用に対する感度を議論した。

(2-2) ステライルニュートリノが存在する場合のパラメーター縮退

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 $\delta m^2_{21} \sim -1/2$ 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。

(2-3) IceCube のギャップから示唆される非標準相互作用の現象論

IceCube は宇宙ニュートリノのスペクトラムを観測したが、それによると、エネルギーが 400TeV-1PeV の範囲にある宇宙ニュートリノは現在のところ地球に飛来していない。これを素粒子論的に説明するために、10MeV 程度の軽いゲージボソン(いわゆるダークフォトン)を導入する模型を考え、さまざまな現象論を議論した。

(2-4) Atomki 異常から示唆される模型の現象論

最近ハンガリーの Atomki グループが観測したベリリウム原子核の崩壊における電子・陽電子対の生成現象(Atomki 異常)は、軽いゲージ粒子の存在を示唆している可能性がある。この研究では Atomki グループの結果・ニュートリノの質量・暗黒物質の残存量を同時に説明する模型を構築した。

(3) 大型加速器実験における荷電レプトンを通して得られる新物理への制約

(3-1) ミューオンック原子での $\mu^+e^-e^+e^-$ 過程におけるレプトンフレーバー過程

研究分担者らによるミューオンック原子における荷電レプトンのフレーバー非保存過程 $\mu^+e^- \rightarrow e^+e^-$ に関する先行研究を、光子相互作用を含む場合に拡張した。

(3-2) COMET 実験・DeeMe 実験における μ -e 変換の可能性

COMET 実験・DeeMe 実験がもうすぐ始まることを受けて、COMET がミューオン電子転換を発見する一方で、ミューオンが電子と光子に崩壊する現象が測定されない場合にどのような模型及び他の実験からの間接的な検証があり得るかを R パリティを破る超対称性模型を基準として考察した。

(4) その他の現象論

(4-1) 無ニュートリノ二重崩壊

主にレプトン数及びレプトンフレーバーの破れた過程を手がかりとした低エネルギー・スケールでのニュートリノ有効理論の構築、並びにその有効理論が高エネルギー・スケールの物理に与える示唆について系統的・網羅的な手法を採り研究を行なった。又、

次世代の実験で観測可能な非標準的な有効相互作用を列挙し、その起源となる高エネルギー模型を系統的に分類することで、各模型のLHC等加速器実験での検証可能性を議論した。

(4-2)ニュートリノ質量行列

democratic 湯川行列から観測と矛盾しないような軽いニュートリノの質量と混合を導出した。ヒッグス粒子と物質粒子との間の相互作用(世代構造)の起源を探るために、離散的な世代対称性 $S_{3L} \times S_{3R}$ を持つような大統一理論の構築を試みた。

三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。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計49件)

- 1 Y. Uesaka, Y. Kuno, J. Sato, T. Sato, M. Yamanaka, Improved analysis for $\mu-e-e$ in muonic atoms by photonic interaction, 査読有, Phys. Rev. D 97(2018)(015017-1-9); dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.97.015017
- 2 M.J.S. Yang, Flavor structure from misalignment of inner products in noncommutative geometry, 査読有, JHEP 1801(2018)(023-1-7); doi.org/10.1007/JHEP01(2018)023
- 3 T. Kobayashi, O. Seto, T. Shimomura, Y. Urakawa, Relaxion window, 査読有, Modern Physics Letter A32(2017)(1750142-1-13); doi.org/10.1142/S0217732317501425
- 4 M. Ghosh, S. Gupta, Z.M. Matthews, P. Sharma, A.G. Williams, Study of parameter degeneracy and hierarchy sensitivity of N_0 A in presence of sterile neutrino, 査読有, Phys.Rev. D 96(2017)(075018-1-8); dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.96.075018
- 5 D. Borah, M. Ghosh, S. Gupta, S.K. Raut, Texture zeros of low-energy Majorana neutrino mass matrix in 3+1 scheme, 査読有, Phys.Rev. D 96(2017)(055017-1-14); dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.96.055017
- 6 A. Crivellin, D. Müller, T. Ota, Simultaneous Explanation of $R(D^{(*)})$ and $b \rightarrow s\mu^+\mu^-$: The Last Scalar Leptoquarks Standing, 査読有, JHEP 1709(2017)(040-1-16); dx.doi.org/10.1007/JHEP09(2017)040
- 7 J. Sato, T. Shimomura, M. Yamanaka, A Solution to Lithium Problem by Long-Lived Stau, 査読有, International Journal of Modern Physics E26(2017)(1741005-1-24); doi.org/10.1142/S0218301317410051
- 8 M. Ghosh, O. Yasuda, Effect of systematics in T2HK, T2HKK and DUNE, 査読有, Phys.Rev. D 96(2017)(013001-1-12); dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.96.013001
- 9 O. Seto, T. Shimomura, Atomki anomaly and dark matter in a radiative seesaw model with gauged B-L symmetry, 査読有, Phys.Rev. D 95(2017)(095032-1-9); doi.org/10.1103/PhysRevD.95.095032
- 10 S.K. Agarwalla, M. Ghosh, S.K. Raut, A hybrid setup for fundamental unknowns in neutrino oscillations using T2HK () and μ -DAR (ν^-), 査読有, JHEP 1705(2017)(115-1-19); dx.doi.org/10.1007/JHEP05(2017)115
- 11 Y. Kaneta, T. Shimomura, On the possibility of search for $L\mu-L$ gauge boson at Belle-II and neutrino beam experiments, 査読有, PTEP 2017(2017)(053B04-1-16); dx.doi.org/10.1093/ptep/ptx050
- 12 S. Fukasawa, M. Ghosh, O. Yasuda Complementarity Between Hyperkamiokande and DUNE in Determining Neutrino Oscillation Parameters, 査読有, Nucl.Phys., B918(2017)337-357; dx.doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2017.02.008
- 13 M.J. S. Yang, Analysis of right-handed Majorana neutrino mass in an $SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ Pati-Salam model with democratic texture, 査読有, Physical Review D 95(2017)(055029-1-9); dx.doi.org/10.1103/Phys. Rev. D 95.055029
- 14 N. Nath, M. Ghosh, S. Goswami, S. Gupta, Phenomenological study of extended seesaw model for light sterile neutrino, 査読有, Journal of High Energy Physics 1703(2017)(075-1-28) doi.org/10.1007/JHEP03(2017)075
- 15 T. Araki, S. Hoshino, T. Ota, J. Sato, T. Shimomura, Detecting the $L\mu-L$ gauge boson at Belle II, 査読有, Physical Review D 95(2017)(055006-1-10); doi.org/10.1103/PhysRevD.95.055006
- 16 S. Fukasawa, M. Ghosh, O. Yasuda, Sensitivity of the T2HKK experiment to nonstandard interactions, 査読有,

- Physical Review D 95(2017)(055005-1-9);
doi.org/10.1103/PhysRevD.95.055005
- 17 M. Ghosh, S. Goswami, S.K. Raut, Implications of $\delta CP = -90^\circ$ towards determining hierarchy and octant at T2K and T2K-II, 査読有, Modern Physics Letters A Volume 32(2017)(1750034 1-14);
doi.org/10.1142/S0217732317500341
- 18 S. Fukasawa, O. Yasuda, The possibility to observe the non-standard interaction by the Hyperkamiokande atmospheric neutrino experiment, 査読有, Nuclear Physics B Volume 914(2017)(99-116);
doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2016.11.004
- 19 M. Drewes, T. Araki et al. (136 authors), A White Paper on keV Sterile Neutrino Dark Matter, 査読有, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics Volume 2017(2017)(025-1-247);
iop.org/article/10.1088/1475-7516/2017/01/025/meta
- 20 D. Borah, M. Ghosh, S. Gupta, S. Prakash, S.K. Raut, Analysis of four-zero textures in the 3+1 neutrino framework, 査読有, Physical Review D 94(2016)(113001-1-13);
doi.org/10.1103/PhysRevD.94.113001
- 21 M.J.S. Yang, Hierarchical majorana neutrinos from democratic mass matrices, 査読有, Physics Letters B Volume 760(2016)747-752;
doi.org/10.1016/j.physletb.2016.06.079
- 22 M. Koike, T. Ota, M. Saito, J. Sato, Parametric Resonance in Neutrino Oscillation: A Guide to Control the Effects of Inhomogeneous Matter Density, 査読有, Physics Letters B Volume 759(2016)266-271;
doi.org/10.1016/j.physletb.2016.05.083
- 23 J. C. Helo, M. Hirsch, and T. Ota, Long-range contributions to double beta decay revisited, 査読有, Journal of High Energy Physics 1606(2016)(006-1-32);
doi.org/10.1007/JHEP06(2016)006
- 24 Y. Uesaka, Y. Kuno, J. Sato, T. Sato, M. Yamanaka, Improved analyses for in muonic atoms by contact interactions, 査読有, Physical Review D 93(2016)(076006-1-8);
dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.076006
- 25 K. Hagimoto, T. Kobayashi, H. Makino, K. Okumura, T. Shimomura, Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediation, 査読有, JHEP 1602, 089(2016)(1-49);
dx.doi.org/10.1007/JHEP02(2016)089
- 26 T. Araki, F. Kaneko, T. Ota, J. Sato, Takashi Shimomura, MeV scale leptonic force for cosmic neutrino spectrum and muon anomalous magnetic moment, 査読有, Physical Review D, 93, no.1, 013014(2016)(1-10);
dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.013014
- 27 L. Calibbi, A. Crivellin, and T. Ota, Effective Field Theory Approach to $s\ell\ell$ (γ), $B_{K(*)} \nu \nu$ and $B_{D(*)}$ with Third Generation Couplings, 査読有, Physical Review Letters 115 (2015)(181801-1-6);
dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.181801
- 28 S. Fukasawa and O. Yasuda, Constraints on the non-standard interaction in propagation from atmospheric neutrinos, 査読有, Adv.High Energy Phys. 2015 (2015)(820941-1-13);
dx.doi.org/10.1155/2015/820941
- 29 J.C. Helo, M. Hirsch, T. Ota, and F.A. Pereira dos Santos, Double beta decay and neutrino mass models, 査読有, JHEP 1505 (2015)(092-1-40);
dx.doi.org/10.1007/JHEP05(2015)092
- 30 J. Sato, M. Yamanaka, A way to crosscheck μ -e conversion in the case of no signals of μ -e and μ -3e, 査読有, Physical Review D 91 (2015)(055018-1-17);
doi.org/10.1103/PhysRevD.91.055018
- 31 T. Araki, F. Kaneko, Y. Konishi, T. Ota, J. Sato, T. Shimomura, Cosmic neutrino spectrum and the muon anomalous magnetic moment in the gauged L_μ - L_τ model, 査読有, Physical Review D vol.v.91 (2015)(037301-1-5);
doi.org/10.1103/PhysRevD.91.037301
- 32 L. Calibbi, J.M. Lindert, T. Ota, Y. Takanishi, LHC Tests of Light Neutralino Dark Matter without Light Sfermions, 査読有, Journal of High Energy Physics 1411 (2014) (106-1-23);
doi.org/10.1007/JHEP11(2014)106
- 33 K. Kohri, M. Koike, Y. Konishi, S. Ohta, J. Sato, T. Shimomura, K. Sugai, M. Yamanaka, Big-bang nucleosynthesis through bound-state effects with a long-lived slepton in the NMSSM, 査読有, Physical Review D 90 (2014)(035003-1-20);
doi.org/10.1103/PhysRevD.90.035003

- 34 O. Yasuda, On nonadiabatic contributions to the neutrino oscillation probability and the formalism by Kimura, Takamura and Yokomakura, 査読有, Physical Review D 89 (2014)(093023-1-17);
doi.org/10.1103/PhysRevD.89.093023
- 35 Y. Konishi, S. Ohta, J. Sato, T. Shimomura, K. Sugai, M. Yamanaka, A first evidence of the CMSSM is appearing soon, 査読有, Physical Review D 89 (2014)(075006-1-26);
doi.org/10.1103/PhysRevD.89.075006
- 36 L. Calibbi, J.M. Lindert, T. Ota, Y. Takanishi, Cornering light Neutralino Dark Matter at the LHC, 査読有, Journal of High Energy Physics October 2013(2013)(132-1-26);
dx.doi.org/10.1007/JHEP10(2013)132
- 他 13 件
〔学会発表〕(計 94 件)
- 1 佐藤 丈, レプトンフレーバーの破れを見る新しい実験の提案 (招待講演), 第一回琉球大学計算科学シンポジウム“素粒子と物性・化学は協力し合える!”, 2017年6月23日~6月25日 琉球大学
 - 2 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), 日本物理学会第72回年次大会, 素粒子実験領域, 宇宙線・宇宙物理領域, 素粒子論領域合同シンポジウム 主題: メガワットビームによるニュートリノ CP 対称性の破れ, 新物理探索に向けた展望, 2017年3月17日~20日, 大阪大学豊中キャンパス
 - 3 太田 俊彦, 「宇宙ニュートリノから探る新物理」(企画講演), 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19日~22日, 東北学院大学泉キャンパス
 - 4 安田 修, ニュートリノの現象論(招待講演), 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
 - 5 M. Ghosh, Sensitivity of T2HK to non-standard interaction (invited talk), The First Workshop on the Second Hyper-Kamiokande Detector in Korea, 21-22 November 2016, Seoul National University, Seoul, South Korea
 - 6 J. Sato, Charged Lepton Flavor Violation from theory side (invited talk), Intensity Frontier in Particle Physics: Flavor, CP Violation and Dark Physics, 26-27 September 2016 National Taiwan University, Taipei, Taiwan
 - 7 O. Yasuda, Complementarity Between Hyperkamiokande and DUNE (invited talk), 12th Rencontres du Vietnam (NuFact 2016), 21-27 August 2016,

- ICISE, Quy Nhon, Vietnam
- 8 J. Sato, CLFV theoretical review (invited talk), 22nd International Symposium on Particles, Strings and Cosmology (PASCOS 2016), 10 - 16 July, 2016, Quy Nhon, Vietnam.
 - 9 O. Yasuda, Synergy of T2HK & DUNE (invited talk), 3rd International Meeting on Large Neutrino Infrastructures, 30-31 May 2016, KEK, Japan
 - 10 O. Yasuda, An analytical treatment of neutrino oscillation probabilities (invited talk), PASCOS2013, 20-26 November 2013, Taipei, Taiwan

他 84 件

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://musashi.phys.se.tmu.ac.jp/~yasuda/nushin/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田 修 (YASUDA OSAMU)

首都大学東京・理工学研究科・教授
研究者番号: 50183116

(2) 研究分担者

佐藤 丈 (SATO JO)

埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 60322294

下村 崇 (SHIMOMURA Takashi)

宮崎大学・教育文化学部・准教授
研究者番号: 00447278

小池 正史 (KOIKE Masafumi)

宇都宮大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 10447279

太田 俊彦 (OTA TOSHIHIKO)

埼玉大学・理工学研究科・研究員
研究者番号: 20649652

小西 康文 (KONISHI YASUFUMI)

茨城大学・大学教育センター・准教授
研究者番号: 90645706

荒木 威 (ARAKI TAKESHI)

工学院大学・学習支援センター・講師
研究者番号: 40645884

高西 康敬 (TAKANISHI YASUTAKA)

埼玉大学・理工学研究科・研究員
研究者番号: 80761379

梁 正樹 (YANG MASAKI)

埼玉大学・理工学研究科・研究員
研究者番号: 50815941

Manojit Ghosh

首都大学東京・理工学研究科・特任助教
研究者番号: 40780010