

平成22年 5月 18日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2009

課題番号：16081209

研究課題名（和文） 時空構造と統一理論

研究課題名（英文） SPACE-TIME STRUCTURE AND UNIFIED THEORY

研究代表者

井上 研三（INOUE KENZO）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：90127978

研究成果の概要（和文）：自然界には4次元を越えた余剰次元や超対称性を実現する超空間が潜んでいると予測されている。本研究は、これらの新たな時空構造を、素粒子の統一理論との関連、とくに素粒子の質量を生み出す湯川相互作用の世代構造に着目して取り組み、ニュートリノ振動の特徴的な世代混合の時空幾何学的理解、ノンコンパクト世代群による世代の統一的理解、蜃気楼伝達機構と呼ばれる超対称性の破れの新たな機構等々、さまざまな観点からその本質的理解を進めた。

研究成果の概要（英文）：Nature is believed to have concealed extra space beyond our familiar four dimensions and also the superspace for given supersymmetry. This project tried to find out this unrevealed spacetime structure by paying a particular attention to the Yukawa couplings that generate characteristic mass patterns of elementary particles, and made substantial progress towards their deeper understanding, for example, the geographical interpretation of the tri-bimaximal neutrino mixing, the unified treatment of particle generations based on the non-compact flavor group, and the mirage mediation of supersymmetry breaking.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	3,100,000	0	3,100,000
2005年度	4,200,000	0	4,200,000
2006年度	3,500,000	0	3,500,000
2007年度	3,500,000	0	3,500,000
2008年度	3,500,000	0	3,500,000
2009年度	3,300,000	0	3,300,000
総計	21,100,000	0	21,100,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：素粒子論、統一理論、超対称性、高次元時空、湯川相互作用、素粒子の世代構造

1. 研究開始当初の背景

1960～1970年代にかけて、素粒子の基礎

的な相互作用を記述する、いわゆる標準模型が構成された。標準模型はその後、数々の実

験により確立され、現代の素粒子物理学の基礎となっている。しかしながら標準模型にも未だ数々の困難があることが知られている。その代表的なものの一つが、湯川相互作用の記述が不十分であることである。とくに、2002年にノーベル賞を受賞した小柴氏提案によるスーパーカミオカンデ実験により、ニュートリノには、標準模型を遥かに越えた新しい相互作用が必要であることが明らかにされた。そのような「超」標準模型として近年大きな関心が寄せられているのは、4次元時空を越えた新たな次元の存在である。本研究等々は、従来の標準模型を支配している対称性原理では為し得ない全く新しい試みとして、時空の新たな構造に注目した研究を進め、数々の画期的な成果をあげていた。

2. 研究の目的

本研究は、素粒子統一理論の研究を通して、隠された時空の構造を明らかにすることを目的とした。新たな空間の存在は、理論的に興味深い可能性のみならず、素粒子加速器実験において、特徴的に検証される可能性をもっている。低エネルギー領域の観測情報を用いることにより、基本理論の時空構造を解明することは主目的の一つである。具体的には、1. 湯川相互作用に関連したフレーバー物理に関する研究、2. 質量の起源とその階層性構造の解明、3. 超対称性、大統一理論、等を主な研究テーマとして、素粒子物理への時空構造に基づく新たなアプローチを開拓し、標準模型を越えた自然観の確立を目指した。

3. 研究の方法

4次元を越える新たな次元の存在は、統一理論の有力な候補である超弦理論においては必然的に含まれる構造である。次世代加速器の到達スケールに未知の空間が広がっている可能性は、我々の自然観を劇的に変える。しかし、その具体的な現象論的可能性についてはあまり考慮されてこなかった。本研究は、とくに、素粒子物理学の最重要課題の一つである世代構造に注目して、時空構造の背後に潜む余剰次元や超対称性の特性を明らかにし、自然界についての新たな知見を探求してきた。また、ミクロとマクロを結び付ける理論体系の演繹的構成に基づき、実験的に測定される世代構造をもとにしながら、高次元時空構造と我々の自然との整合性を検討し、現象論的な物理と場の理論の構造に関する結びつきや、空間コンパクト化の問題と統一理論の諸問題との関連などを明らかにし理解を深めた。また素粒子物理全体の総合的関連性に着目し、幅広い視点で研究を行っていく必要があるため、研究代表者・分担者と密接

に連携をとりつつ重点的に研究を遂行してゆく協力研究員を雇用した。

4. 研究成果

(1) 超対称統一理論に於いて、超対称性の破れに関わる高次元時空に由来するモジュライ場のダイナミクスを考察した。CP問題、グラビティーノ問題等の現象論的要請を系統的に分析し、スーパーポテンシャルの形が本質的に定まることを示した。その形は、超弦理論におけるモジュライ安定化の理論的観点から示唆されるものと合致することは興味深い。帰結として得られる超対称粒子の質量スペクトラムは極めて特徴的な性質を備えており、電弱スケールと大統一スケールの中間エネルギー領域においてゲージノやスフェルミオンの質量に統一が起こる。その現象は現在世界的に、蜃気楼伝達機構として認知されている。

(2) 我々が住んでいる4次元以外の余剰次元の空間は、直接眼で見ることは難しい。しかし、その空間が備えている対称性や、どのような幾何学的構造をもっているかは、素粒子の世代構造に大きく反映される。とくに、その余剰空間上の理論が S_3 対称性を備えているとき、近年のニュートリノ振動の観測で明らかになってきたニュートリノのtri-bimaximal世代混合が自然に実現されることを明らかにした。またこの成果を背景に、 S_3 世代間対称性をもつ理論の一般的性質を分析し、大統一模型の構成や、フェルミオンの質量行列と真空構造の関係を解析した。

(3) 超対称ゲージ理論におけるD項により超対称性が破れると、一般にスカラー粒子に複雑な質量項を与える。とくに大統一理論に於いてこの効果を考察し、スカラー粒子の質量について幾つかの組み合わせを構成することにより、普遍的関係式が成り立つことを導いた。その結果、統一理論のような非常に高いスケールで存在する素粒子の世代構造が、低エネルギー領域で近い将来に観測可能な実験値にもとづいて検証可能であることを示した。

(4) 素粒子の世代構造の起源は余剰次元まで含めた時空の構造と深く関わっていると予想される。そうすると、4次元時空がもつ対称性と同様に、その対称性はノンコンパクトである可能性がある。そのような模型は、素粒子の世代数を対称性の破れによって自発的に生成することができる。一番単純なノンコンパクト群である $SU(1, 1)$ を世代対称性として備えたベクターライクな超対称統一理論にもとづいて、荷電レプトンとダウン型

クォークの質量階層性の解析をおこなった。その結果、これらの素粒子の世代間の質量差は、1種類のヒッグス構造だけでは実現することは不可能であることが明らかになった。このことは、ヒッグス・セクターが大統一レベルで、従来予想されていたものよりもさらに豊かな構造(少なくとも二重構造)をしていることを示唆している。

(5) ストリング理論において近年発展したゲージ/重力対応原理をテクニカラー理論の解析に応用した。この理論はいわゆるゲージ階層性問題を解決する枠組みとして、強結合のゲージ力学によって電弱対称性の自発的破れを実現するものであるが、強結合理論であるため、その定量的解析に困難が付随する。しかし、ゲージ/重力対応に基づくと、この理論をある種の高次元重力背景上の弱結合ヤン-ミルズ理論として構成することができる。それにより、電弱量子補正の評価が可能になり、また物質場の質量を導入できる等、従来の問題点を克服しながらさまざまな現象論的解析が可能となり、新たな知見を得ることができた。

(6) SU(1, 1) 世代対称理論においては、空間反転 P、荷電共役 C、および時間反転 T のすべては、基本的レベルにおいて厳格に成り立つ対称性であり、実験的に観測されているそれらの破れは、すべて対称性の自発的破れの結果に帰することができる。この考えに立脚すると、強い相互作用のダイナミクスである量子色力学において未だに満足な解決に至っていないいわゆる「strong CP 問題」の解決に有力な方向性を与えることを示した。この考えが正しいとすると、キャビボ・小林・益川行列の中に存在する CP 対称性を破る位相(δ)は、素粒子の世代数3と強い相関をもって実現される($\delta = \pi/3$)ことを示した。将来、実験的にこれが検証されると、世代についてのこのモデルの考え方の妥当性が大きく支持されることになる。

(7) 超対称高次元量子電磁力学において、Fayet-Iliopoulos (FI) 項が輻射補正により必ず現れること、またその取り得る形式を理論的に評価し、真空構造の変化を解析した。とくに FI 項の存在により余剰次元の大きさが安定化する幾つかのメカニズムを提唱し、高次元理論の現実的な応用が可能となることを示した。またその実現例として、それぞれの場合において、全く新しい型の超対称性の破れやフレーバー物理への適用を議論した。

(8) 素粒子の世代を支配する対称性が大統一理論の中に潜っていると、それは対称性原理

によってフェルミオン質量行列のいくつかの要素の値を禁止(ゼロに)することがある。ゼロでない要素がどれだけあると素粒子の質量や混合行列の観測値が実現されるか、その最小形を分析した。とくにダウン型クォークと荷電レプトンに対しては、非対称な行列形を詳細に検討し、興味深い候補を見出した。さらに、その行列から生み出される特徴的な物理現象の数値評価をおこなった。

(9) 低エネルギー(電弱相互作用)の領域でゲージノ質量が統一している現象は、これまで考慮されていない新たな超対称性の観測可能性を生む。超共形変換のアノマリー効果が存在する系において、統一が実現する一般的な条件を導出した。また、縮退したスペクトラムは低エネルギー領域の観測値によってのみ決まり、あたかもゲージ結合定数に対する中間領域の物理(閾値補正)が効かないように振る舞うことを明らかにした。さらに閾値の存在による統一の安定性や、超重力理論の枠組における統一条件の力学的実現を考察した。

(10) ニュートリノ世代混合の実験値は、世代空間において整列した真空構造を強く示唆している。これに対し、高次元空間における境界条件を用いた真空整列の新しい機構を提唱した。これまでに主に行われていた4次元模型におけるスカラー場の複雑なポテンシャル構成・解析がまったく不要となり、かつ高次元オービフォールドの無矛盾性条件から、真空整列の方向もごく少数に限られる可能性を指摘した。

(11) 高次元時空においてニュートリノ質量についてのシーソー機構を考察すると、4次元の場合とは異なり、右手型ニュートリノが比較的軽くても大きな結合定数を持ち、将来実験における多様な観測可能性が開かれる。とくにLarge Hadron Collider における3レプトンモードへの崩壊を重点的に解析し、高次元時空の観測可能性を考察した。また、International Linear Collider による高次元測定精度の研究を進めた。

(12) 一般的な高次元背景重力上でニュートリノのシーソー機構を詳細に解析した。その結果、シーソー後の軽いニュートリノ質量には極めて特殊な状況が存在することを明らかにした。各世代の質量の相対的な値や混合角には具体的な時空の曲がりには全く影響せず、全体的な質量スケールにのみに影響が見られることを見出した。

(13) 超対称なノンコンパクト・ゲージ理論において、ノンユニタリーな場のケーラー・

ポテンシャルをカノニカルな形で採用すると、負メトリックのいわゆるゴーストが現れて困難に陥る。すべての粒子状態が正ノルムを持ち、エネルギーも正定値となる理論の真空を実現する枠組みを模索した。その結果、ケーラー・ポテンシャルや超ポテンシャルが、超場について逆ベキであれば望ましい状態空間が構成できることを見出した。これは、従来の場の理論の枠組みを大きく変革する新たなブレイクスルーになるものと期待される。

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 21 件)

- ① Kenzo Inoue, Hirofumi Kubo, Naoki Yamatsu, “Vacuum Structures of Supersymmetric Noncompact Gauge Theory”, Nuclear Physics B, 833 巻 1-2 号、2010 年、pp.108-132、査読有
- ② Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka, “Geometry-free neutrino masses in curved spacetime”, Physics Letters B, 683 巻 4-5 号、2010 年、pp.289-293、査読有
- ③ Naoyuki Haba, Shigeki Matsumoto, Koichi Yoshioka, “Observable seesaw and its collider signatures”, Physics Letters B, 677 巻 5 号、2009 年、pp.291-295、査読有
- ④ Tatsuo Kobayashi, Yuji Omura, Koichi Yoshioka, “Flavor symmetry breaking and vacuum alignment on orbifolds”, Physical Review D, 78 巻 11 号、2008 年、115006 pp.1-9、査読有
- ⑤ Kenzo Inoue, Naoki Yamatsu, “Strong CP problem and the natural hierarchy of Yukawa couplings”, Progress of Theoretical Physics, 120 巻 6 号、2008 年、pp.1065-1091、査読有
- ⑥ Naoyuki Haba, Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, Koichi Yoshioka, “Tri-bimaximal mixing from cascades”, Physical Review D, 78 巻 11 号、2008 年、113002 pp.1-12、査読有
- ⑦ Motoi Endo, Koichi Yoshioka, “Low-scale gaugino mass unification”, Physical Review D 78 巻 2 号、2008 年、025012 pp.1-17、査読有
- ⑧ Kenzo Inoue, Naoki Yamatsu, “Charged lepton and down-type quark masses in SU(1,1) model and the structure of higgs sector”, Progress of Theoretical Physics 119 巻 5 号、2008 年、pp.775-796、査読有
- ⑨ Satoru Kaneko, Hideyuki Sawanaka, Takaya Shingai, Morimitsu Tanimoto, Koichi Yoshioka, “Flavor symmetry and vacuum aligned mass textures”, Int. J. Mod. Phys. E 16 巻 5 号、2007 年、pp.1427-1436
- ⑩ Takayuki Hirayama, Koichi Yoshioka, “Holographic construction of technicolor theory”, JHEP 0710、2007 年、002 pp.0-22、査読有
- ⑪ Kenzo Inoue, Kentaro Kojima, Koichi Yoshioka, “Probing flavor structure in unified theory with scalar spectroscopy”, JHEP 0707、2007 年、027 pp.0-20、査読有
- ⑫ Hiroyuki Matsuura, Hiroaki Nakano, Koichi Yoshioka, “Soft supersymmetry breaking at heavy chiral threshold”, Progress of Theoretical Physics, 117 巻 2 号、2007 年、pp.395-400、査読有
- ⑬ Kenzo Inoue, Kentaro Kojima, Koichi Yoshioka, “Low-energy variety of asymmetric SUSY flavor structure”, Physics Letters B, 644 巻 2-3 号、2007 年、pp.172-178、査読有
- ⑭ Satoru Kaneko, Hideyuki Sawanaka, Takaya Shingai, Morimitsu Tanimoto, Koichi Yoshioka, “Flavor symmetry and vacuum aligned mass textures”, Progress of Theoretical Physics, 117 巻 1 号、2007 年、pp.161-181、査読有
- ⑮ Kenzo Inoue, Kentaro Kojima, Koichi Yoshioka, “Neutrino-induced electroweak symmetry breaking in supersymmetric SO(10) unification”, JHEP 0607、2006 年、032 pp.0-52、査読有
- ⑯ Naoyuki Haba, Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka, “Twisted flavors and tri/bi-maximal neutrino mixing”, Physical Review Letters, 97 巻 4 号、2006 年、041601 pp.1-4、査読有
- ⑰ Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka, “Minimal archi-texture for neutrino mass matrices”, JHEP 0605、2006 年、044 pp.0-37、査読有
- ⑱ Naoyuki Haba, Koichi Yoshioka, “Discrete flavor symmetry, dynamical mass textures, and grand unification”, Nuclear Physics B, 739 巻 1-2 号、2006 年、pp.254-284、査読有
- ⑲ Motoi Endo, Masahiro Yamaguchi, Koichi Yoshioka, “A Bottom-up approach to moduli dynamics in heavy gravitino scenario: Superpotential, soft terms and sparticle mass spectrum”,

Physical Review D, 72 巻 1 号、2005 年、015004 pp.1-23、査読有

- ② Nobuhiro Uekusa, Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka, “Asymmetry and minimality of quark mass matrices”, Physical Review D, 71 巻 9 号、2005 年、094024 pp.1-13、査読有
- ③ Tatsuo Kobayashi, Koichi Yoshioka, “Radiative stabilization of warped space”, JHEP 0411、2004 年、024 pp.0-23、査読有

[学会発表] (計 36 件)

- ① 渡邊篤史、吉岡興一、曲がった空間上のシーソー機構について、日本物理学会 第 65 回年次大会 岡山大学 (2010 年 3 月 23 日)
- ② 井上研三、久保博史、山津直樹、ノンコンパクト群に基づく超対称ゲージ理論の真空構造、日本物理学会 第 65 回年次大会 岡山大学 (2010 年 3 月 22 日)
- ③ 吉岡興一、他 7 名、ILC における余剰次元模型の右巻きニュートリノに関する測定精度の評価、日本物理学会 第 65 回年次大会 岡山大学 (2010 年 3 月 20 日)
- ④ 吉岡興一、他 7 名、ILC 実験における余剰次元模型の右巻きニュートリノに関する測定精度の評価、日本物理学会 2009 年秋季大会 甲南大学 (2009 年 9 月 12 日)
- ⑤ 井上研三、山津直樹、超対称ベクターライク大統一模型に基づく素粒子のカイラルな世代とその構造、日本物理学会 2009 年秋季大会 甲南大学 (2009 年 9 月 11 日)
- ⑥ 小林達夫、大村雄司、吉岡興一、Flavor symmetry breaking and vacuum alignment on orbifolds、日本物理学会 第 64 回年次大会 立教大学 (2009 年 3 月 28 日)
- ⑦ 井上研三、山津直樹、Strong CP Problem and MSSM from Supersymmetric Vectorlike Model、日本物理学会 2008 年秋期大会 山形大学 (2008 年 9 月 23 日)
- ⑧ 遠藤基、吉岡興一、超重力理論におけるアノマリーとスカラー質量について、日本物理学会 2008 年秋期大会 山形大学 (2008 年 9 月 23 日)
- ⑨ 遠藤基、吉岡興一、低エネルギー領域における縮退したゲージノ質量、日本物理学会 2008 年秋期大会 山形大学 (2008 年 9 月 23 日)
- ⑩ 井上研三、素粒子の世代構造の理解の試み (招待講演)、日本物理学会 2008 年秋期大会 山形大学 (2008 年 9 月 22 日)
- ⑪ 高橋亮、波場直之、谷本盛光、吉岡興一、Tri-bimaximal Mixing from Cascades、日本物理学会 2008 年秋期大会 山形大学 (2008 年 9 月 21 日)
- ⑫ 波場直之、高橋亮、谷本盛光、吉岡興一、Tri/bi-maximal from Cascade Texture、

日本物理学会 第 63 回年次大会 近畿大学 (2008 年 3 月 24 日)

- ⑬ Koichi Yoshioka、Flavor Symmetry and Tri-Bimaximal Generation Mixing、Workshop, The 21th neutrino meeting, ICRR, University of Tokyo, November 2, 2007
- ⑭ 山津直樹、井上研三、SU(1,1) 対称性に基づくクォーク・レプトンの質量とヒッグス・セクターの構造、日本物理学会 第 62 回年次大会 北海道大学 (2007 年 9 月 24 日)
- ⑮ 小島健太郎、井上研三、吉岡興一、超対称粒子の質量スペクトルから探る統一理論の世代構造、日本物理学会 2007 年春季大会 首都大学東京 (2007 年 3 月 26 日)
- ⑯ S. Kaneko, H. Sawanaka, T. Shingai, M. Tanimoto, K. Yoshioka、New Approach to Texture-zeros with S_3 Symmetry、International Workshop on Neutrino Masses and Mixings -Toward Unified Understanding of Quark and Lepton Mass Matrices-, Shizuoka University, Shizuoka, Japan, December 17-19 2006.
- ⑰ Naoyuki Haba, Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka、Twisted flavors and tri/bi-maximal neutrino mixing、DES Y theory workshop 2006, The Dark Universe, 28 September 2006
- ⑱ S. Kaneko, H. Sawanaka, T. Shingai, M. Tanimoto, K. Yoshioka、 S_3 Higgs Potential and Texture-zeros in Supersymmetric Standard Model、International Workshop on Supersymmetry, Electroweak Symmetry Breaking and Particle Cosmology, Pohang, Korea, 23-30 Aug 2006.
- ⑲ Kentaro Kojima, Kenzo Inoue、Koichi Yoshioka、Phenomenological aspects of generation twisted supersymmetric unification、International workshop on supersymmetry, electroweak symmetry breaking and particle cosmology, Pohang, Korea, August 27, 2006
- ⑳ 波場直之、渡邊篤史、吉岡興一、Twisted flavors and tri/bi-maximal neutrino mixing、基礎物理学研究所研究会 素粒子物理学の進展 2006 (2006 年 8 月 2 日)
- ㉑ 小島健太郎、井上研三、吉岡興一、Phenomenology of Generation Twisted SUSY GUT、基礎物理学研究所研究会 素粒子物理学の進展 2006 (2006 年 7 月 31 日)
- ㉒ 波場直之、渡邊篤史、吉岡興一、高次元ニュートリノ模型におけるフレーバー対称性の破れ、日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 30 日)
- ㉓ 小島健太郎、井上研三、吉岡興一、ニュー

トリノ湯川結合とレプトンセクターの大混合の効果を含んだ $SU(10)$ SUSY-GUT シナリオ、日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 30 日)

- ②④ 金子悟, 澤中英之, 真貝崇也, 谷本盛光, 吉岡興一、 S_3 higgs potential and texture-zeros in supersymmetric standard model、日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 29 日)
- ②⑤ 松浦 弘幸, 中野 博章, 吉岡興一、On the UV-insensitivity of Anomaly-Mediated SUSY-breaking with Vector Messenger、日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学 (2006 年 3 月 27 日)
- ②⑥ Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka、Higher-dimensional neutrino models and flavor symmetry、Winter school in Niseko 2006, 6 March 2006
- ②⑦ Kentaro Kojima, Kenzo Inoue, Koichi Yoshioka、Radiative electroweak symmetry breaking with neutrino effects in supersymmetric $SU(10)$ unifications、Winter school in Niseko 2006, 6 March 2006
- ②⑧ 植草宣弘, 渡辺篤史, 吉岡興一、フェルミオン質量行列の最小性、日本物理学会 2005 年秋季大会 大阪市立大学 (2005 年 9 月 12 日)
- ②⑨ 金子悟, 澤中英之, 真貝崇也, 谷本盛光, 吉岡興一、 S_3 higgs potential and texture zeros in supersymmetric standard model、日本物理学会 2005 年秋季大会 大阪市立大学 (2005 年 9 月 12 日)
- ③⑩ 吉岡興一、重いグラビティーノとモジュライ場の物理、FIT 研究会 弦と場のダイナミクスと宇宙、福岡工業大学 (2005 年 8 月 27 日)
- ③⑪ Nobuhiro Uekusa, Atsushi Watanabe, Koichi Yoshioka、Minimal fermion mass matrices with asymmetric textures、International Workshop Summer Institute 2005, Fujiyoshida, Japan, 11-18 Aug, 2005
- ③⑫ 植草宣弘, 渡辺篤史, 吉岡興一、Minimal fermion mass matrices with asymmetric textures、基礎物理学研究所研究会 素粒子物理学の進展 2005 (2005 年 6 月 23 日)
- ③⑬ 植草宣弘, 渡辺篤史, 吉岡興一、対称行列でない質量行列のテクスチャー解析、日本物理学会 第 60 回年次大会 東京理科大学 (2005 年 3 月 25 日)
- ③⑭ 小島健太郎, 井上研三, 吉岡興一、MSSM 湯川統一シナリオにおける電弱対称性の破れ、日本物理学会 第 60 回年次大会 東京理科大学 (2005 年 3 月 24 日)
- ③⑮ 吉岡興一、高次元空間の歪みと素粒子現象 (招待講演)、日本物理学会 2004 年秋季大

会 高知大学 (2004 年 9 月 29 日)

- ③⑯ 吉岡興一、Heavy gravitino scenario における moduli 場の物理、日本物理学会 2004 年秋季大会 高知大学 (2004 年 9 月 29 日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 研三 (INOUE KENZO)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：9 0 1 2 7 9 7 8

(2) 研究分担者

吉岡 興一 (YOSHIOKA KOICHI)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：8 0 3 6 3 3 2 3

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：