領 域 番 号： 763

領域略称名： 弦と場の理論のダイナミクス

http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~ninomiya/tokutei/

文部科学省科学研究費補助金
特定領域研究　研究成果報告書
「超弦理論と場の理論のダイナミクス」

(研究期間)

平成 13 年度 ~ 平成 18 年度

領域代表者　京都大学基礎物理学研究所・教授・二宮正夫

連絡責任者：　川合　光

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
京都大学 大学院理学研究科 物理学第二教室
素粒子論研究室

目次

1 研究領域の概要 1
2 研究領域の設定目的 2
3 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況 3
4 研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果 11
5 各班の 6 年間に得た重要な成果 13
6 研究費の使用状況 19
6-a ポストドクトラルフェローの採用 19
6-b 総括班が主催した国際会議 20
6-c 総括班が補助したシンポジウム及び日本人・外国人の招聘 20
6-d 分担者によるワークショップ、シンポジウム、研究会などの開催 21
7 研究成果の取りまとめ状況 29
8 研究成果の公表 29
A1 行列模型を用いた超弦理論の非摂動的効果の研究 31
A2 超弦理論の時空構造と対称性 37
A3 超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造 47
A4 超弦理論の代数的及び幾何的構造の解析 61
A5 弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究 67
A6 超弦理論に現れる様々なブレーン及び真空の行列を用いた記述とその有効性の研究 71
B7 素粒子論および物性理論における場の理論の諸問題の現代的研究 77
B8 非可換空間上の場の理論とその応用 83
B9 ゲージ場の量子論におけるフェルミ粒子とソリトン 89
B10 有限時空系の場の量子論と量子系のダイナミクス 97
B11 場の理論における Wilson くりこみ群と対称性の実現 109
B12 ゲージ場の理論の非摂動的解析方法の開発と応用 113
B13 物質場と重力における対称性とトポロジー 119
B14 対称性の自発的破れを持つ系と非摂動的方法 129
C15 大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究 135
C16 ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ 145
C17 CP の破れと標準模型を超える物理 153
C18 強結合場の理論の摂動的および非摂動的解析 159
C19 数値的手法にもとづいたゲージ理論の非摂動的効果の解明 165
C20 超対称ゲージ理論の非摂動ダイナミックスに基づくフレーバー物理 175
D21 電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用 179
D22 ダークマターの測定とその構造の解明 187
D23 超弦理論の宇宙論による検証 191
D24 弱電磁理論における非摂動効果とバリオン数生成 197
D25 スカラー場のダイナミックスとそれを背景とするバリオン数生成 201
9 研究分担者の受賞 205
10 報道など 206
11 総括班評価者による評価の状況 207
12 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度 208

1　研究領域の概要

本領域研究が対象とする研究は、弦理論と場の理論の動力学的な性質である。前者に関しては、重力の量子論つまり量子重力のダイナミクスと弦 (= 超弦) 理論に基づく素粒子の統一理論の構築が具体的な内容である。後者の場の理論の研究においては、場の量子論の基礎と純粋数学から物質科学に至る幅広い応用、及び電弱相互作用からハドロン物理・格子ゲージ理論に至る標準模型の基礎的な研究ならびに現象論的研究である。更に標準模型から弦理論に至る種々の素粒子模型や、弦理論から最近新たに構成されたブレーン宇宙論の宇宙論への影響と宇宙論からの制限等について幅広い観点から有機的に研究を行う。一見かけ離れた現象・理論の集合に見えるが、弦理論・場の理論のダイナミクスを解明する、という極めて統一的な研究に集約される。

本領域研究は組織としては便宜上研究項目を 4 つに分ける。

研究項目 A:「超弦理論と量子重力のダイナミクス」
研究項目 B:「場の理論とその現代的応用」
研究項目 C:「標準模型と格子ゲージ理論」
研究項目 D:「素粒子論的宇宙論」

各項目は孤立しているものでなく、個別テーマを深化させつつ常に他の項目とのフィードバックが直ちに行われるのが重要である。国際会議や研究会を通してそれを実現してゆくのが総括班の役割である。

総括班は上記 4 つの研究項目相互の連携を強める中から、弦理論・場の理論の新しい視点を生み出してゆくことである。その一環として計画班相互の連携を高めるための国際的研究集会を年に 3 回開催する計画である。

国内においては、弦理論と場の理論のダイナミクスを研究課題とする研究者は、素粒子理論研究者のうちの多数を占めている。

これら研究者の中で、量子重力、弦理論と場の理論を統一的に研究しようとする研究者集団が本領域研究参加者であり、国内で当該研究の中核をなす人達から構成している。

海外においても、弦理論、場の理論の各のダイナミクスは素粒子理論研究の中心課題として、活発な研究が行われているが、これら 2 つの課題を統一的な視点から研究しているのは本領域の独創的な点であり、物理的成果が期待される。

当該研究に関する海外の中心的研究機関としてはプリンストン高等研究所、カリフォルニア大学サンタバーバラ・カブリ理論物理学研究所、ヨーロッパ中央原子核研究所 (セルン：ジュネーブ)、コペンハーゲン大学ニールスボーア研究所・同国際高等研究所 (デンマーク)、アジア太平洋理論物理学研究センター (大韓民国) 等があるが、これら研究所でも本領域研究の課題を精力的に研究しており、緊密な交流を図っている。今後一層交流・共同研究を発展させてゆく。

2　研究領域の設定目的

当領域の研究対象は素粒子物理学の基礎を形づくる、弦（＝超弦）理論・場の理論の動力学的な性質である。具体的には、量子重力のダイナミクスと超弦理論による素粒子の統一理論、場の量子論の基礎と純粋数学から物質科学にまでおよぶ広い応用、弱電磁相互作用からハドロン物理・格子ゲージ理論にいたる標準模型の基礎的および現象論的研究、標準模型から超弦理論にいたる素粒子模型の宇宙論への影響および宇宙論からの制限の研究、などに関する幅広い有機的な対象である。これらの研究は表面的には一見、かけはなれた種々雑多な対象の集まりに見えるが、場の理論・弦理論のダイナミクスを解明していくという、きわめて一般的かつ統一的な研究に集約される。当領域では計画班の組織化の便宜上、研究項目を大きく４つに分けたが、各項目は各々孤立したものではなく、それぞれの分野は独自の発展をくりかえしながらも、常に他の分野の発展をとり入れ、また、他の分野の発展をうながしていくという関係にある。このように分野間相互の関係を理解した上で、各項目の研究内容に関して以下に記述する。

超弦理論と量子重力のダイナミクス　現在の素粒子物理学の最大の課題の一つは、プランクスケールの時空構造を研究し、素粒子の究極の統一理論を作ることであるが、最も有力視されているのが超弦理論である。これは、重力を含む理論として、おそらく唯一の矛盾のない理論であるが、現実の物理現象を説明するには、摂動論的に作られた従来の定式化では不十分で、より根源的かつ構成的な定式化を完成させる必要がある。最近、本領域分担者の川合、北澤、石橋、土屋による行列模型などが発見され、それもついに最終段階にさしかかっているように思われる。これが完成すれば、すべての基本法則が一つの原理から導き出されることになる。

場の理論とその現代的応用　伝統的な局所場の理論は素粒子物理において長い歴史を持っているが、その重要性はますます増大している。従来より、場の理論の手法は純粋数学から物性理論にいたるまで広く応用され、成果を上げてきたが、最近顕著なのは、場のダイナミクスを現代的手法で解析・応用し、場の理論に対する理解をさらに深めていく傾向である。カイラルフェルミオンの問題、くりこみ群の精密な定式化など、場の理論の正統的な問題にも、上のような新しい視野を加味して分析・解明していくことが進められている。

標準模型と格子ゲージ理論　当領域分担者の小林と益川により提唱された KM 模型は、３世代を持つ素粒子の標準模型として確立されており、この標準模型による自然の記述の検証を進める事も重要である。特に CP 対称性の破れの解析、標準模型を越える物理の理論研究は新しい物理のあるべき姿を探る有力な手段となっている。標準理論の非摂動論的な研究を可能にしたのが格子ゲージ理論であり、数値的方法により物理量を定量的に研究出来るようになってきた。具体的には、動的クォークの効果を取り入れた数値シミュレーションや、弱い相互作用をも考慮したハドロン物理量の計算などが計画されている。また、数値的なアプローチとは相補的なものとして、閉じ込めの機構を定性的に理解したり、Nielsen-二宮の格子上のカイラル対称性の研究に端を発する質量の起源の研究など、精力的に研究がつづけられている。

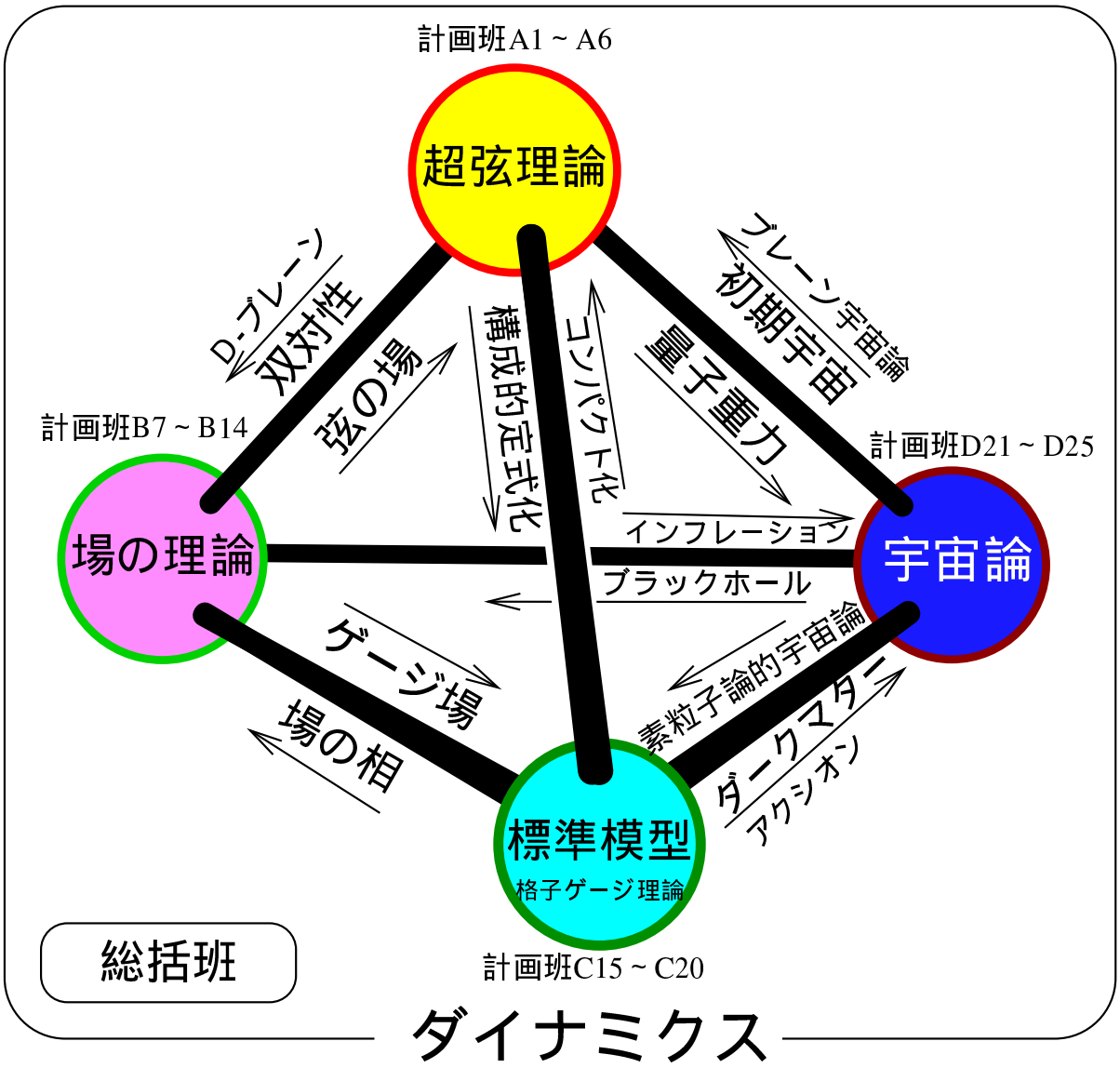
素粒子論的宇宙論　これまで素粒子論と宇宙論との総合的な議論はあまり活発には行われてこなかったが、今後はこれらの有機的な関係が重要になっていく。WMAP などの宇宙背景放射の精密測定や宇宙暗黒物質の探索が行われている現在、素粒子模型と宇宙論とを包括的に議論することは、新たな模型を作る上だけでなく、将来の実験計画を立てる際にも重要である。素粒子実験や宇宙論的観測による様々な模型の検証方法を考察し、逆に、標準模型を越える物理によって宇宙進化のシナリオがどのように変更を受けるかを議論することなどが重要である。

以上が各項目の研究内容であるが、上述の様に当領域の研究に関しわが国は高い水準を持っており、この「弦と場のダイナミクス」の研究を重点的積極的に行うことにより、さらに世界をリードする素粒子物理学の新しい発展をわが国から発信していく事が可能であり、これが当領域の目的である。

3　研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

さきに 1. 研究領域の概要及び 2. 研究領域の設定目標において記述し強調したように、弦理論と場の量子論ののダイナミクスの研究は、広範な研究項目：本領域では研究組織の便宜上４つの研究項目に分け、各研究項目は、それぞれ５～６班からなるという重属構造になっている。これら４つの研究項目各班、決して独立したものではなく、密接な有機的関係を保って研究は進展している。実際、それぞれの項目は独自の発展をくり返しつつ、常に他の項目の発展を取り入れ、それがまた他の項目の発展をうながすという関係にある。

この関係を次のように２次元平面において図示する。(実際は平面ではなくより高次元の空間で図示するのが適切であるが、それは不可能なため、２次元的に図示する。)



例えば超弦理論と場の理論において双対姓と弦の場と２本の逆方向に矢印が向かっている。これの意味は、超弦理論からは、最近、強結合と弱結合との２つの領域の双対姓（デュアリティ）が存在する事が見出され、これにより摂動論では解析できなかった強結合領域の超弦理論の研究が長足の進歩をとげた。一方、ゲージ場の量子論における強結合領域の研究も摂動論的に扱えず、永年の課題であったが、場の理論への弦理論の双対姓の導入により、急速に解析が始まっている。

また超弦理論と宇宙論の間の２本の矢印については、超弦理論から宇宙論への主要な寄与は、初

期宇宙論や宇宙の誕生を研究するときに必須の量子重力が超弦理論によってはじめてもたらされることを意味している。量子重力は、重力理論を量子力学を用いて構成するものであるがこれら両者を統一して扱うと、重力理論がくりこみ不可能となり、物理量に生じる無限大の発散がくりこみ処法によって除去できないという極めて深刻な難問が生じる。唯一可能なくりこみ可能な量子重力理論の構成法は、超弦理論においてだけ実現出来ると信じられている。この量子重力理論が、初期宇宙の解明に資するのである。

宇宙論から超弦理論に向う矢印は、宇宙物理学が提起するいくつかの重要問題：何故観測される宇宙定数は約 10 のマイナス 122 けたも現在の素粒子論から計算した理論値よりも小さいのか、1 あるいは我々の宇宙はビッグバンにより誕生した後インフレーション期に指数関数的にサイズが膨張したと信じられている。標準的なインフレーションモデルにおいてはインフラトンという (仮想的な) スカラー粒子がインフレーションを生じさせるのに必要で、しかもそのポテンシャルは極めて不自然な形である必要がある。超弦理論がプランクスケールの自然を正しく記述する理論であるためには、このインフレーションを自然に導出できるはずである。これら上記 2 つの問題はティピカルな宇宙論から超弦理論に要請される問題であり、現在本領域の研究者をはじめ多くの超弦理論の研究者が、解明に向けて大きな力を注いでいる。

この宇宙論から超弦理論に向う矢印に関し、当領域では既に大きな成果を得ている (H15 年度 A3 班)。通常のビッグバン (約 137 億年前) より以前の宇宙は「プレビッグバン期」と呼ばれ、理論的には極めて興味深い新しい領域ととなってきた。この領域で、超弦理論の基本的仮定：最小距離、最高温度 (ハゲドロン温度)、最小曲率だけから、宇宙進化の新しいモデル「サイクリックユニバース理論」を提唱し、インフラトンを必要としないインフレーション的宇宙膨張を示す事ができ、大きな反響を得た。

宇宙論から超弦理論に向う矢印は、初期宇宙の観測論的宇宙論、例えば最近の WMAP 衛星の宇宙の赤方偏移のゆらぎ等の精密観測からもたらされた画期的な情報は超弦理論の有効性を試す重要な手がかりを与えている。また、超弦理論において発見されたソリトン的な解の D-ブレーン (膜) は直ちに宇宙論において新しい宇宙モデル：ブレーン宇宙論として大きく進展し詳細な解析が行われている。これらの結果はすぐに超弦理論にフィードバックし、D-ブレーンなどのソリトン的古典解にもとづく非摂動論的な超弦理論の進展をもたらしている。

以上のいくつかの例は、本領域の各項目、各班が有機的に関連していて、ある項目の発展が他の項目の発展を促した一つの良い例である。

これらの各項目・各班の連携を深めるのが総括班の役割であり、各項目・各班の其々の研究の進展を見極めつつ、連携を深め成果を得るために最適な目標と表題をもった国際会議や研究会を開催した。

研究組織 (総括班・計画班) の一覧

総括班

領域代表者:	二宮 正夫	京都大学基礎物理学研究所・教授
	菅原 寛孝	総合研究大学院大学・理事
	益川 敏英	京都産業大学・教授
	小林 誠	高エネルギー加速器研究機構・ダイヤモンドフェロー
	岩崎 洋一	筑波大学・学長 (H16 年度まで)
	藤川 和男	日本大学・教授
	湯川 哲之	総合研究大学院大学・教授
	吉村 太彦	岡山大学・教授
	米谷 民明	東京大学大学院・教授
	東島 清	大阪大学大学院・教授
	風間 洋一	東京大学大学院・教授 (H17–18 年度)
事務責任者:	川合 光	京都大学大学院・教授

計画班 A1 「行列模型を用いた超弦理論の非摂動的効果の研究」

研究代表者:	北澤 良久	高エネルギー加速器研究機構・教授
	石橋 延幸	筑波大学・教授
	磯 暁	高エネルギー加速器研究機構・助教授
	西村 淳	高エネルギー加速器研究機構・助教授
	湯川 哲之	総合研究大学院大学・教授
	菅原 寛孝	総合研究大学院大学・理事
	青木 一	佐賀大学・助教授
	夏梅 誠	高エネルギー加速器研究機構・助手
	浜田 賢二	高エネルギー加速器研究機構・助手

計画班 A2 「超弦理論の時空構造と対称性」

研究代表者:	米谷 民明	東京大学大学院・教授
	風間 洋一	東京大学大学院・教授 (H17–18 年度)
	加藤 光裕	東京大学大学院・助教授
	橋本 幸士	東京大学大学院・助手 (H14–16 , 18 年度)
	小竹 悟	信州大学・教授 (H15–18 年度)
	糸山 浩司	大阪市立大学大学院・教授 (H15–16 年度)

計画班 A3 「超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造」

研究代表者:	二宮 正夫	京都大学基礎物理学研究所・教授
	益川 敏英	京都産業大学・教授

	川合 光	京都大学大学院・教授
	畑 浩之	京都大学大学院・教授
	國友 浩	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	大野木 哲也	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	笹倉 直樹	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	福間 将文	京都大学大学院・助教授
	糸山 浩司	大阪市立大学大学院・教授 (H17–18 年度)
	米山 博志	佐賀大学・教授 (H17–18 年度)
	原田 恒司	九州大学大学院・助教授 (H15–18 年度)

計画班 A4 「超弦理論の代数的及び幾何的構造の解析」

研究代表者:	上原 正三	宇都宮大学・教授
	青山 昭五	静岡大学・教授
	河合 俊哉	京都大学数理解析研究所・助教授
	粟田 英資	名古屋大学大学院・助教授

計画班 A5 「弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究」

研究代表者:	藤崎 晴男	立教大学・名誉教授 (平成 17 年度までは教授)
	田中 秀和	立教大学・教授
	矢彦沢 茂明	立教大学・准教授

計画班 A6 「超弦理論に現れる様々なブレーン及び真空の行列を用いた記述とその有効性の研究」

研究代表者:	郷六 一生	福岡工業大学・教授
	多田 司	独立行政法人理化学研究所・副主任研究員
	早川 雅司	名古屋大学・理学研究科・准教授
	菅本 晶夫	お茶の水女子大学・教授
	瀬尾 幸市	岐阜市立女子短期大学・教授

計画班 B7 「素粒子論および物性理論における場の理論の諸問題の現代的研究」

研究代表者:	河本 昇	北海道大学大学院・教授
	石川 健三	北海道大学大学院・教授
	中山 隆一	北海道大学大学院・准教授

計画班 B8 「非可換空間上の場の理論とその応用」

研究代表者:	江澤 潤一	東北大学大学院・教授

綿村 哲　　東北大学大学院・助教授

計画班 B9「ゲージ場の量子論におけるフェルミ粒子とソリトン」

研究代表者: 藤川 和男　　日本大学・教授
筒井 泉　　高エネルギー加速器研究機構・助教授

計画班 B10「有限時空系の場の量子論と量子系のダイナミクス」

研究代表者: 大場 一郎　　早稲田大学・教授
中里 弘道　　早稲田大学・教授
山中 由也　　早稲田大学・教授
中村 博樹　　早稲田大学・助手 (H14 ~ 16 年度)
湯浅 一哉　　早稲田大学・講師 (H13 ~ 17 年度)
森田 健司　　早稲田大学・助手 (H13 ~ 15 年度)
宮本 学　　早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
奥村 雅彦　　早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
太田 幸宏　　早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
峰 真如　　早稲田大学・助手 (H18 年度)

計画班 B11「場の理論における Wilson くりこみ群と対称性の実現」

研究代表者: 五十嵐 尤二　　新潟大学・教授
伊藤 克美　　新潟大学・助教授
宗 博人　　新潟大学・助教授

計画班 B12「ゲージ場の理論の非摂動的解析方法の開発と応用」

研究代表者: 青木 健一　　金沢大学・教授
平山 実　　富山大学大学院・教授
寺尾 治彦　　金沢大学・助教授

計画班 B13「物質場と重力における対称性とトポロジー」

研究代表者: 東島 清　　大阪大学大学院理学研究科・教授
細谷 裕　　大阪大学大学院理学研究科・教授
窪田 高弘　　大阪大学大学院理学研究科・教授
見目 正克　　奈良女子大学理学部・教授
中原 幹夫　　近畿大学理工学部・教授

計画班 B14 「対称性の自発的破れを持つ系と非摂動的方法」

研究代表者:	柏 太郎	愛媛大学大学院・教授 (H13 ~ H18 年度)
	井町 昌弘	山形大学・教授 (H13 ~ H17 年度)
	江沢 康生	愛媛大学大学院・教授 (H14 ~ H18 年度)
	川村 嘉春	信州大学・助教授 (H15 ~ H18 年度)
	米山 博志	佐賀大学・教授 (H13 ~ H14 年度)
	原田 恒司	九州大学大学院・助教授 (H13 ~ H14 年度)
	川合 栄一郎	愛媛大学・助教授 (H14 年度)

計画班 C15 「大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究」

研究代表者:	青木 慎也	筑波大学大学院・教授
	太田 滋生	高エネルギー加速器研究機構・助教授
	岩崎 洋一	筑波大学・学長 (H16 年度まで)・教授
	大川 正典	広島大学・教授 (H14 年度まで)

計画班 C16 「ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ」

研究代表者:	藤原 高徳	茨城大学・教授
	近藤 慶一	千葉大学・助教授
	菊川 芳夫	東京大学・助教授
	鈴木 博	理化学研究所・専任研究員

計画班 C17 「**CP** の破れと標準模型を超える物理」

研究代表者:	小林 誠	高エネルギー加速器研究機構・ダイヤモンドフェロー
	林 青司	神戸大学・教授
	岡田 安弘	高エネルギー加速器研究機構・教授

計画班 C18 「強結合場の理論の摂動的および非摂動的解析」

研究代表者:	中村 純	広島大学・教授
	大川 正典	広島大学大学院・教授
	小平 治郎	高エネルギー加速器研究機構・教授
	中澤 直仁	島根大学・助教授 (H13 年度)

計画班 C19 「数値的手法にもとづいたゲージ理論の非摂動的効果の解明」

研究代表者:	鈴木 恒雄	金沢大学総合メディア基盤センター・教授
	久保 治輔	金沢大学自然科学研究科・教授
	中島 日出雄	宇都宮大学工学部・教授

計画班 C20 「超対称ゲージ理論の非摂動ダイナミックスに基づくフレーバー物理」

研究代表者:	安江 正樹	東海大学・教授
	日置 善郎	徳島大学・教授

計画班 D21 「電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用」

研究代表者:	吉村 太彦	岡山大学大学院・教授
	棚橋 誠治	東北大学大学院・助教授
	諸井 健夫	東北大学大学院・助教授
	久野 純治	東京大学宇宙線研究所・助教授

計画班 D22 「ダークマターの測定とその構造の解明」

研究代表者:	表 實	慶應義塾大学・教授
	青木 健一郎	慶應義塾大学・教授
	岩崎 愛一	二松学舎大学・教授
	肥川 隆夫	大妻女子大学・教授

計画班 D23 「超弦理論の宇宙論による検証」

研究代表者:	細谷 暁夫	東京工業大学・教授
	石原 秀樹	大阪市立大学・教授
	伊藤 克司	東京工業大学・助教授
	白水 徹也	東京工業大学・助教授
	綿引 芳之	東京工業大学・助手
	椎野 克	東京工業大学・助手
	野尻 伸一	名古屋大学・教授

計画班 D24 「弱電磁理論における非摂動効果とバリオン数生成」

研究代表者:	青山 秀明	京都大学大学院・教授
	松田 哲	京都大学大学院・名誉教授
	山本 克治	京都大学大学院・教授

計画班 D25 「スカラー場のダイナミックスとそれを背景とするバリオン数生成」

研究代表者:	豊田 文彦	近畿大学・教授
	船久保 公一	佐賀大学・教授

4　研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果

本領域の 4 大項目は有機的に密接に関連しつつ、領域領域の当初の設定目標をはるかに越える重要な成果をえていると確信する。以下に研究の年度毎の進展状況、及び主な研究成果を列挙する。

平成 13 年度

素粒子論的宇宙論では、トンネル効果が宇宙の環境中でどのように起こるのかを、実時間形式を用いて基礎から研究し、バリアークロス現象が環境からのエネルギー流入によって促進される機構を初めて明らかにした。また、余剰次元ゲージ理論を解析し、カイラル対称性の力学的破れやトップ対凝縮の可能性を探った。さらに、Curvaton がインフレーション模型に与える影響や、電弱相互作用をする暗黒物質の対消滅過程に対する非摂動論的効果を解析した。これらは極めて重要な研究の発展をもたらした。

平成 14 年度

場の理論の基礎的発展として、非コンパクトなリッチ平坦な空間に値を取る非線形シグマ模型を構成し、非摂動的くりこみ群方程式を用いて、アインシュタイン・ケーラー多様体が固定点になることを示した。

平成 15 年度

格子ゲージ理論では、世界に先駆けて 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究を展させ、新しいカイラル摂動論を 3 フレーバーへの拡張し、また、ドメインウォール・クォークを用いた 3 つの動的クォークの効果を含んだ格子 QCD の研究を開始した。これも世界のトップリーダとしての仕事である。

平成 16 年度

素粒子論的量子宇宙論と統計熱力学の第 2 法則 (エントロピー増大の法則) を統一的に記述する理論を提唱した。具体的には、半現象論的な現在のエントロピーの定式化をもとに、更にその背後に存在すると予想される基本法則の一般論を展開した。実際にこの理論を用いることによって場の量子論的宇宙論の長年の難問：宇宙定数は観測上、何故極めて小さいのか、またインフレーション理論における様々な難問、に回答を与え得ることを示した。

平成 17 年度

行列模型を解析する手法として、平均場近似を系統的に改良してゆく方法を開発し、理論の基底状態として 4 次元の時空が現れる可能性が大きいことを初めて示した。行列模型と非可換空間上のゲージ理論の関係を一般的に解析し、ゲージ理論、超弦理論、行列模型の間の統一的な関係を新たに見出した。さらに、行列模型の新しい解釈を提案し、一般相対論的不変性が行列模型の中で実現できることを世界にさきがけ示した。

場の量子論において長年なぞであったボソン場の負エネルギーの海の構成方法を発見した。この方法によって場の量子論における奇異な事実：カイラルフェルミオン場の異常項、共形場の異常項などが極めて物理的に理解できるようになり、新しい発展が期待される。また弦理論の新しい量子化、弦の場の理論の構成に展望を与えると考える。ゲージ場と Higgs 場を高次元ゲージ理論のなかで統一し、量子効果により対称性を破る細谷機構を電弱相互作用に適用し、ゲージ・ヒッグス統合理論でワインバーグ角とクォークレプトンの質量行列をただしく再現できることを示し、LHC 実験での検証を提唱した。以上の場の理論の成果は、今後の進展にとって非常に重要なものである。

場の理論の数学的側面の研究では、通常の ADHM 構成を超空間に拡張し、それを更に変形することで非可換超空間上の超場形式を用いた変形された ADHM 構成ができることを示した。場の理論の物性論への応用としては、量子ホール系で実現している非可換空間での運動方程式を解析

し、非可換ソリトンのダイナミクスを解明した。これらは本領域でこそ達成された極めてユニークで貴重な成果である。格子 QCD による中性子の電気双極子能率の研究や、重いクォークの物理の研究の端緒を開いた。これらの成果はいうまでもなく、世界で初めて得られた結果である。

平成 18 年度

超弦理論の非摂動的定式化の方法としてソリトン的な解のＤ粒子を用いて場の理論を構成する道筋を付けた事は注目に値する。更に、いくつかのＤブレーンが組み替わる機構を明らかにした。また、超弦理論の構成的定式化として行列理論が本領域のメンバー達によって構築されたが、この行列がどの様に曲がった時空を記述することが出来るのかを詳細に分析した。この方向の理論を完成させれば、宇宙初期の時空構造等を明らかにすることが出来ると考えられる。一方、超弦理論の非摂動的研究によって得られた新しい知見の一つである非可換幾何学の空間の研究を量子ホール効果の研究に応用する野心的な試みが行なわれ、新たに量子位相に対する有効理論を構成し、２層量子ホール系において縦抵抗がゼロとなる特異な現象を理論的に見出し、これが実験結果を説明することを示した。また、非断熱的および混合状態の幾何学的な位相はすべてシュレーディンガー方程式に内在する「隠れたゲージ対称性」に付随したホロノミーとして理解できることを示した。

素粒子の標準理論の構成要素の一つである QCD に対しては、大規模数値シミュレーションによる研究によって大きな前進と成果が得られた。特に、次に列挙する 8 項目に渡り顕著な国際的リーダーシップを取っている。1) より軽い 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の準備と開始。2) 新しいカイラル摂動論のベクター中間子への拡張。3) Twisted-mass QCD に対する $O(a)$ 改良の証明。4) ドメインウォール・クォークを用いた 3 つの動的クォークの効果を含んだ格子 QCD の研究。5) 重いクォークの物理の研究。6) 格子 QCD による中性子電気双極子能率の研究。7) 厳密なカイラル対称性を持つクォーク作用による力学的効果を取り入れた格子 QCD の研究の開始。8) 格子 QCD による核力の研究。

格子場の理論における難問の一つであるカイラル対称性を有する $SU(2) \times U(1)$ 電弱統一理論を格子理論として定式化することに関し、ゲージ不変なフェルミオン経路積分の測度を構成することに成功した。これら標準理論において理論的に存在可能性のある磁気単極子（モノポール）について、電気二重極能率を超対称性のあるモデルで詳細に調べ、その生成機構を明らかにした。また、ニュートリノは標準理論及びその延長上の理論において強い関心を引く素粒子であるが、この粒子の対生成を促進する準安定原子レーザーを照射する方法が、実はニュートリノのマヨラナ性を検証し、ニュートリノ質量行列を決定する有力な方法であることを示した。

以上の様に、各年度に渡り、４つの項目が有機的に連係し、先進的な成果を挙げることが出来た。

5　各班の 6 年間に得た重要な成果

計画班 A1　行列模型を用いた超弦理論の非摂動的効果の研究

現実的な 4 次元ドジッター時空は等質空間の一例であるが、非可換等質空間を超弦理論の非摂動論的定式化をめざす IIB 行列模型において研究した。有効作用のラージ N 極限における振る舞いを、超対称性とパワーカウンティングにより決定し、 4 次元において最小化されることを示した。この結果は、超弦理論の非摂動論的真空が 4 次元ドジッター時空である可能性を示唆する。

計画班 A2　超弦理論の時空構造と対称性

有意義な重要成果は多々あるが、最も独創的な成果は、米谷による D 粒子の量子場理論の構築へ向けた着想である。本テーマについては１８年度のいくつかの国際会議で準備的な内容について発表し、現在第 1 論文を執筆中である。この着想により、弦理論の最大特徴である、開弦と閉弦の双対性や、時空不確定性に現れている短距離時空構造などを量子論における最も根源的な双対性である粒子と場の双対性と関連させた新たな定式化の可能性が開けた。また、D 粒子の力学の非摂動的な定式化へ向けた新たな可能性を示唆している。

計画班 A3　超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造

二宮は川合・福間と共に超弦理論を応用してビッグバン前後の超初期の宇宙構造の研究を行ない、プレビッグバン理論を提唱した。また、Holger B. Nielsen 氏と共に場の理論の長年の難問であったボソンに対する Hole Theory の構成を行なった。川合は超弦理論を構成的に定義した。原理的に物理量を数値計算により求まるようにし、重力まで含めた究極の統一理論を構築するよう行列模型を構成して、非摂動的に研究を進めた。大野木哲也を含む研究チームは、格子ＱＣＤによって、自発的カイラル対称性の破れの現象を世界で初めて厳密に実証した。即ち、クォークの質量がゼロに近いときに、シミュレーションの結果をカイラル対称性の破れから予言されるエネルギー準位と比較することで、量子色力学が自発的カイラル対称性の破れを引き起こすことを示した。これは、物質の質量生成の起源に対する理解にゆるぎない基礎をあたえる研究成果であり、量子色力学にもとづくハドロン (陽子・中性子・パイ中間子等) や原子核の性質の解明に道を拓くものである。

計画班 A4　超弦理論の代数的及び幾何的構造の解析

5 次元超対称ヤンミルズ理論の解析をおこない、自己双対とは限らない一般の定重力場と結合した場合の分配関数、いわゆるネクラソフの公式が、一般の ゴパクマ–ヴァファ不変量の母関数でもあることを見いだした。更に、この一般のネクラソフの公式の位相的頂点作用素による構成を、三角型ライセナース模型の励起状態であるマクドナルド関数を用いて与えた。

計画班 A5　弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究

ブラックホール (BH) については、4 次元時空でのディラトン結合型で回転を伴う荷電 BH の熱力学を考察し、最も実現性の高い多体 BH 分布は全系の質量・電荷・角運動量が 1 コの BH に集中した非熱平衡状態であることを示した。また、弦理論の第一量子化においては厳密な非摂動的結果を導いた。主な厳密結果は、反対称テンソル場のフラックスと pp-波を背景場としたボソン閉弦において弦座標の「自由モード表現」を構成し、BRST 演算子形式で共変的正準量子化を厳密に行い、BRST 演算子のべき零性から時空次元数と正規順序定数を決定したことである。

計画班 A6　超弦理論に現れる様々なブレーン及び真空の行列を用いた記述とその有効性の研究

超弦理論の構成的定式化の模型である IIB 行列模型から、その時空を定めるメカニズムを解明する際には Heisenberg 代数で表現される非可換幾何学からのアプローチが非常に有用になること、また行列による表現は非可換幾何学と密接な関係にあることを示した。そして、非可換幾何学と行列の対応を用いて、高次元空間に埋め込まれた空間の曲がりを表現する方法について調べるとともに、その際に現れるゲージ/弦理論対応の有用性に基づき量子色力学の非摂動的な側面、及び曲がった時空間における量子論を格子正則化等も用いて追求した。

計画班 B7　素粒子論および物性理論における場の理論の諸問題の現代的研究

ツイストされた超対称性の格子上での定式化の提案を行った。具体的には 2 次元 N=2 の超対称性を持つ、BF 理論、Wess-zumino 理論、Super Yang-Mills 理論に対して、全ての超対称電荷に対して格子上で厳密に超対称性を保存する定式化の提案を行った。この定式化は 3 次元、N=4 の超対称性を持つ Super Yang-Mills に拡張出来ることも示した。

計画班 B8　非可換空間上の場の理論とその応用

本計画班の最大の成果は、非可換幾何学の観点から、量子ホール効果の物理の集大成を行ったことである。量子ホール系は、電子の位置を表す x 座標と y 座標が交換しないという非可換性によって完全に支配される特異な系である。実験的に観測されている準粒子を非可換ソリトンと解釈し、また、諸々の量子位相現象を非可換空間上のクーロン相互作用の帰結として説明した。その成果は多数の原著論文に纏めると同時に、740 ページの単行本（World Scientific 社，Quantum Hall Effects 改定第二版）として刊行した。

計画班 B9　ゲージ場の量子論におけるフェルミ粒子とソリトン

全ての幾何学的な位相は、第 2 量子化において明確に現れる隠れた局所的対称性に付随したホロノミーとして理解でき、したがって全ての観測可能量はゲージ不変であることを示した。また、量子特異点の数理的分類とその物理的性質の研究を行い、それらが生成する Berry 位相や双対性、さらには特異点上の量子圧と粒子の統計性の関係等、量子特異点の多様な物理効果を明らかにした。

計画班 B10　有限時空系の場の量子論と量子系のダイナミクス

量子情報処理に不可欠な量子ビット間の相関について、ゼノン型観測によって量子系の純化、量子絡み合いの抽出などが可能となることを示した。また、BEC の励起状態を取り扱う場の量子論をゼロ・モードセクターや複素固有値セクターまで含めて無矛盾に構成し、有限時空における場の理論の一つの典型を与えた.

計画班 B11　場の理論における **Wilson** くりこみ群と対称性の実現

Wilson くりこみ群においては、ある運動量以下での有効作用を導出するために、その運動量より大きな値を持つ運動量積分を実行すべく運動量切断が導入される。本研究では、このように与えられた正則化とナイーブには共存しない対称性の新たな定式化を行い、「正則化と共存する変形された対称性」が存在すること、その存在が反場形式での量子論的マスター方程式で記述されることを明らかにした。また、QED などいくつかの系で実際にこのマスター方程式を構築し、その解を求めた。これは、格子理論におけるカイラル対称性や超対称性の定式化を含めて、正則化と共存する対称性の研究における一般的な方法を与えるものである。

計画班 B12　ゲージ場の理論の非摂動的解析方法の開発と応用

長距離相互作用を持つ系を有限レンジスケーリングで解析する方法を新たに開発し、拡張イジング模型での局在化相の発現を示して相構造を求めた。Skyrme 模型と Faddeev 模型の厳密解やエネルギー値に関して新しい種々の知見を得ることができた。(超対称) 標準模型における階層性を導く模型の考察と、その動力学の非摂動繰り込み群による解析を行った。

計画班 B13　物質場と重力における対称性とトポロジー

高次元ゲージ理論を用いて、ゲージ場とヒッグス場を統合した。余剰次元におけるアハロノフ・ボーム位相は、 4 次元電弱理論に現れるヒッグス場と同定される。 5 次元時空が曲がったワープ空間の場合には、現実的な模型を構成することができる。ヒッグス粒子の質量は 100-300GeV と予想される。また、ヒッグス粒子とクォーク・レプトン等の相互作用は、標準理論と大きく異なり、近い将来、LHC などによる検証が期待される。

計画班 B14　対称性の自発的破れを持つ系と非摂動的方法

経路積分における補助場の方法がきわめて有効で、見通しのよい方法であることが確立された。Maximum Entropy Method に基づいた解析法を確立した。多次元・高階重力理論に基づいて量子論を目指すため、正準形式の定式化へむけての基礎を固めた。世代の起源を説明する可能性のある様々な 5 次元時空上の大統一理論を見つけ、その構造を反映した超対称化された標準模型の構成粒子の質量間に成立する和則を導くことに成功した。

計画班 C15　大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究

もっとも重要な研究成果は、今までの格子 QCD の数値計算の主流であったクエンチ近似を乗り越えて、力学的クォークの寄与を含んだ格子 QCD の計算を研究のスタンダードにしたことである。 2 つの軽い力学的クォークの寄与を含んだ計算を完成させ力学的クォークの重要性を世界に示した。さらに、ストレンジクォークの寄与を含んだ「完全な QCD」での計算を行い、それが可能であることを実証した。現在、クォーク質量をより軽くし、「完全な QCD」での計算の完成を目指している。

計画班 C16　ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ

Ginsparg-Wilson 関係式を満たす格子 Dirac 演算子に基づくカイラル対称な格子ゲージ理論について研究し、理論の力学的側面と格子ゲージ場の配位空間の位相構造の関係を明らかにし、U(1) カイラル格子ゲージ理論の構成法を簡単化した。これを応用して $SU(2) \times U(1)$ 電弱格子ゲージ理論におけるフェルミオン測度を具体的に構成した。また、 2 次元 $N = (2, 2)$ 超対称 Yang-Mills 理論など低次元超対称ゲージ理論の格子定式化への一つの道筋を提案した。

計画班 C17　**CP** の破れと標準模型を超える物理

ニュートリノ質量を説明できる大統一理論やフレーバー対称性を持った理論などいろいろな種類の超対称模型で B 中間子、K 中間子の CP 破れや稀崩壊過程、レプトンフレーバーの破れ過程の計算を行って、これらの観測量の標準模型の予言からのずれのパターンの模型による違いを明らかにした。そして、この結果を現行の B ファクトリー実験の結果の解釈と関連する実験の将来計画の検討に役立てた。

計画班 C18　強結合場の理論の摂動的および非摂動的解析

物質を構成する素粒子であるクォークは単体では測定されないが、量子色力学 QCD はこの閉じ込め相から非閉じ込め相への相転移を予言している。超高温状態を実現する超高エネルギー重イオン反応の実験で、米国ブルックヘブン国立研究所でこの相転移温度を超えたと考えられているが、そこで見いだされたものは予想に反して、自由なクォークガス状のものではなく、強く相互作用する完全流体と考えられる物質であった。我々は格子 QCD シミュレーションにより、初めてこの物質の粘性係数を計算し、完全流体に近い非常に低い粘性係数を得た。

計画班 C19　数値的手法にもとづいたゲージ理論の非摂動的効果の解明

鈴木は QCD の閉じ込め機構が、可換な双対マイスナー効果で理解できることをゲージ不変に示した。久保は離散群に基づくフレーバー対称性が低エネルギーで実現されている可能性があり、標準理論やその拡張された理論が持つフレーバー問題を緩和することのできる有力は候補であることを見いだした。中島らは、Landau ゲージの九後・小嶋カラー閉じ込め条件について、非クエンチ数値実験において初めて成立するという数値結果を得た。

計画班 C20　超対称ゲージ理論の非摂動ダイナミックスに基づくフレーバー物理

広く知られているフレーバー $SU(N_f)$ 対称性及び $SO(N_f)$ 対称性の磁気自由度による記述に対して、電気的自由度による記述を定式化した。インスタントン効果に着目した対称性の自発的破れと南部・ゴールドストーン場による構成が特徴である。また、このような非摂動効果の高エネルギー加速器実験における現象論的な検証のための解析方法を整備した。

計画班 D21　電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用

宇宙と量子の世界をつなぐ重要な接点である、ニュートリノ質量の性格と質量絶対値、混合角すべてを決定する新たな実験手段として、準安定原子のニュートリノ対生成が有力な方法であることを提唱した。暗黒物質の直接および間接的探索に関わる原子核との弾性散乱過程および対消滅過程に対する電弱相互作用による量子補正を評価した。グラビティー問題を避けるために必要な宇宙再加熱温度の上限について、詳細な計算を行った。ヒッグスレス模型について詳細な研究を行い、この模型が現在の精密測定と矛盾しないことを見いだした。

計画班 D22　ダークマターの測定とその構造の解明

ダークマターの測定とその構造の解明を目指す本計画班では、「ダークマターを構成する素粒子の正体」、「宇宙初期におけるその生成メカニズム」、「宇宙質量密度に占めるその割合の測定」の３つの課題を取り上げ、それぞれの側面で重要な成果をあげたが、素粒子物理学が存在を予言したアクシオンをダークマターの候補として考え、その測定法を提案した論文「Ultra High Energy Cosmic Rays and Gamma Rays Bursts from Axion Stars:Proc. 9th Marcel Grossman Meeting on General Relativity」は、具体的に観測的な検証法を指摘している点で極めて重要である。

計画班 D23　超弦理論の宇宙論による検証

ブレーン時空で宇宙論的な洞察をする際に問題となるのが、いかにして曲がった余剰次元を解くかということである。そこで、4 次元の低エネルギー有効理論を得るために余剰次元方向について長波長展開による解法を考案した。更に、この有効理論を用いて、より現実的な超弦理論に基づいた系に応用し、宇宙項と重力定数との関係を明らかにした。一方で、ブレーン宇宙では宇宙

論的なスケールで重力の法則の変更を伴うような模型が存在するが、そのような場合の宇宙の大規模構造の解析を行い、SDSS(スローンデジタルスカイサーベイ) による銀河の観測データと比較することで模型に対する制限について考察を行った。

計画班 D24　弱電磁理論における非摂動効果とバリオン数生成

N 重超対称性において、これまで知られていなかった多次元へ拡張した場合の代数構造が判明し、具体的なモデルの構築が可能となった。余剰次元空間については、宇宙定数が余剰次元のカシミアエネルギーに起因するとして、ＷＭＡＰ観測の宇宙定数の値から余剰次元空間の大きさをサブミリメーター程度と評価を得た。超対称弱電磁模型ではポテンシャル平坦面上での多元スカラー場運動により粒子数非対称が有効に生成されることを見出し、これによるレプトン数生成とニュートリノ質量の関係を明らかにした。

計画班 D25　スカラー場のダイナミックスとそれを背景とするバリオン数生成

宇宙のバリオン非対称を電弱相転移のスカラー場 (Higgs 場) のダイナミックスから導く可能性について議論した。特に、一次相転移の Bubble Wall の表面における過渡的 CP の破れが重要であるとの指摘を行った。現実の模型に関しては MSSM (最小超対称模型) ではいくつかの困難があることを示した。これに対し、NMSSM ではμ -問題の解決と共に、過渡的 CP の破れが起こる可能性を指摘した。

6　研究費の使用状況

本領域の各班の交付研究費、毎年、主として 1) 国内研究集会、及び国際ミニワークショップを所属の大学・研究機関の施設の無償の提供を受けて、国内・海外の招待講演者の招聘費用を当該班が負担、開催する事、2) 班の構成員及び若手研究協力者が国内・海外における研究集会での招待講演の旅費、3) 海外から当該班のメンバーが研究している専門家を招聘し、共同研究・討論を行なう、4) ポストドクトラルフェローとして当該班の研究分野の若手を 1 ~ 2 年の間採用し共同研究の実をあげ、5) 研究において必須のパーソナルコンピュータとその附属品の購入。素粒子論では、膨大な台数計算は “Mathematica” や “Maple” といった、代数計算専用のソフトウエアを高速演算能力のあるパーソナルコンピューターで行なう事が必須となっている。(スーパーコンピュータよりもこの目的にはパーソナルコンピューターの方が適している。)

総括班は、各項目、各班の研究の進展状況を注意深く吟味し、領域代表者を中心として必要に応じ、各班の開催する国内国際研究集会の助言と共に、開催及び 6) 招待講演者の招聘資金を提供し、各項目各班相互のフィードバックの進展を図った。7) 総括班が主催して、中規模の国際研究集会を開催し、当領域の研究目的の達成に資するよう努めた。8) さらに、海外における各項目のトップレベルの活動を行なっている。研究者を比較的長期間招聘して、国際共同研究の発展を促してきた。9) 若手研究者の中で高度な能力を有しながら、職に就けない若手研究者をポストドクトラクフェローとして採用し、第一線の研究の共同研究を行なう事によって、有為な人材の育成に努めた。総括班として

羽原 由修	(平成 16 年 4 月 ~ 平成 19 年 3 月)

をポストドクトラクフェローとして採用した。

6-a　ポストドクトラルフェローの採用

各計画班が採用したポストドクトラルフェローは以下の通りである。

計画班 A1:

富野 弾	(平成 16 年 5 月 ~ 平成 17 年 3 月)
山口 貴史	(平成 17 年 4 月 ~ 平成 19 年 3 月)
堀田 健司	(平成 17 年 4 月 ~ 平成 19 年 3 月)

計画班 B10:

乙部 毅	(平成 17 年 10 月 ~ 平成 18 年 1 月)
須永 知夏	(平成 17 年 10 月 ~ 平成 18 年 1 月)
鵜木 誠	(平成 16 年 10 月 ~ 平成 16 年 12 月)
乙部 毅	(平成 16 年 10 月 ~ 平成 16 年 12 月)

計画班 B11:

浮田 尚哉	(平成 14 年 5 月 ~ 平成 15 年 3 月)
浮田 尚哉	(平成 15 年 5 月 ~ 平成 15 年 9 月)
中野 (村田) 享香	(平成 15 年 10 月 ~ 平成 16 年 3 月)
澤中 英之	(平成 16 年 9 月 ~ 平成 17 年 3 月)

計画班 C15:

村上 公一	(平成 17 年 4 月 ~ 平成 18 年 3 月)
石川 智己	(平成 18 年 4 月 ~ 平成 18 年 10 月)

計画班 C18:

石川 智己	(平成 14 年 4 月 ~ 平成 15 年 3 月)
Pushkina Irina	(平成 15 年 4 月 ~ 平成 17 年 7 月)
Chernodub Maxim	(平成 18 年 2 月 ~ 平成 18 年 3 月)

計画班 C19:

伊藤 悦子	(平成 17 年 4 月 ~ 平成 18 年 3 月)
梶山 裕二	(平成 18 年 4 月 ~ 平成 18 年 9 月)

以上、延べ１８人であった。

6-b　総括班が主催した国際会議

総括班は以下の国際会議を主催した。

名称：「Frontiers of Quantum Physics」
場所：京都大学基礎物理学研究所、日時：平成 17 年 2 月 17 日 ~ 19 日
ホームページ：http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/ oiqp/
プロシーディングスの出版：Prog.Theor.Phys.Suppl.**164**.

またこの国際会議の開催において、外国人４名に 136 万円、日本人３１名に 165 万円の招聘費用の補助を行なった。

6-c　総括班が補助したシンポジウム及び日本人・外国人の招聘

総括班が補助したシンポジウム名称、日本人及び外国人への招聘費用などは以下の通りであった。

平成 13 年度

「国内研究会 KEK Theory Workshop 2002」、日本人 71 名:397 万円

平成 14 年度

「SI2002」、外国人 11 名:216 万円 、日本人 11 名:49 万円
「場の量子論 2002」、日本人 14 名:52 万円
「実験・観測に基づく素粒子統一描像の構築」24 名:103 万円
「格子場の理論スクール」 12 名:55 万円
「場の量子論の基礎的諸問題と応用」 9 名:31 万円
「Sapporo Winter School in Furano 2003」 11 名:79 万円

平成 15 年度

「STRINGS2003」 外国人 5 名:199 万円

「finite density QCD」 外国人 4 名:48 万円
「LATTICE2003」 外国人 1 名:24 万円、日本人 18 名:91 万円
「Komaba 2003」 外国人 2 名:37 万円、日本人 1 名:2 万円
「Sapporo Winter School in Niseko '04」 外国人 4 名:54 万円、日本人 7 名:42 万円
「場の量子論 2003」 日本人 10 名:50 万円
「New direction of particle physics(TEA03)」 日本人 10 名:16 万円
「SI2003」 日本人 7 名:48 万円

平成 16 年度

「場の量子論」 日本人 8 名:27 万円
「SI2004」 日本人 6 名:50 万円
「Sapporo Winter School」 日本人 11 名:94 万円
「原子核 3 者若手夏の学校」 日本人 2 名:12 万円
「理研集中セミナー」 日本人 13 名:46 万円

平成 17 年度

「理研シンポ」 日本人:33 万円
「弦理論、場の量子論の展望」 日本人 12 名:42 万円
「SI2005 外国人 3 名 20 万円」 日本人 4 名:28 万円
「場の理論・弦理論の進展」 日本人 3 名:16 万円

平成 18 年度

「量子力学とカオス QMC2006」 外国人 6 名:161 万 5 千円
「弦理論、場の量子論の展望」 日本人 9 名:57 万円
「場の理論・弦理論の進展」 外国人 3 名:75 万円

6-d　分担者によるワークショップ、シンポジウム、研究会などの開催

各計画班の分担者が主催したワークショップ、シンポジウム、研究会などは以下の通りであった。

計画班 A1 行列模型を用いた超弦理論の非摂動的効果の研究

[1] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 2001 年 3 月.

[2] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 2002 年 3 月.

[3] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 2003 年 3 月.

[4] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 2004 年 3 月.

[5] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 2005 年 3 月.

[6] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 理論研究会, 200 6 年 3 月.

[7] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 弦理論夏の合宿, 2001 年 7 月.

[8] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 弦理論夏の合宿, 2002 年 7 月.

[9] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 弦理論夏の合宿, 2003 年 7 月.

[10] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 弦理論夏の合宿, 2004 年 7 月.

[11] 高エネルギー加速器研究機構, KEK 弦理論夏の合宿, 2005 年 7 月.

計画班 A2 超弦理論の時空構造と対称性

[12] 米谷民明 (組織委員) , 10th Tohwa International Workshop on String Theory, Fukuoka, 2001 年 7 月 3 日.

[13] 米谷民明 (組織委員) , KIAS Workshop on Branes, KIAS, Seoul, 2002 年 5 月 19 日.

[14] 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「場の量子論 2002」, 2002 年 7 月 23–26 日.

[15] 風間洋一 (組織委員) , International Conference "Strings 2003", 2003 年 7 月 5 日.

[16] 米谷民明 (International Advisory Committee 委員) , International Conference "Strings 2003", 2003 年 7 月 5 日.

[17] 橋本幸士 (組織委員) , 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「場の量子論 2003」, 2003 年 8 月 5–8 日.

[18] 米谷民明 (組織委員長) 風間洋一 (組織委員) , International Workshop "Komaba 2003": Recent developments in Strings and Fields, in Memory of Bunji Sakita, 2003 年 11 月 27 日.

[19] 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「場の量子論 2004」, 2004 年 7 月 13–16 日.

[20] 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「格子ゲージ理論の新しい芽と発展」, 2004 年 12 月 8–10 日.

[21] 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「弦理論、場の量子論の展望」, 2005 年 8 月 19–23 日.

[22] 加藤光裕 (組織委員) , 基研研究会「弦理論、場の量子論における新たな進展」, 2006 年 9 月 12–16 日.

[23] 加藤光裕 (組織委員) , "Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities" Hawaii, USA, 2006 年 10 月 29 日–11 月 3 日.

[24] 米谷民明 (組織委員) , 1st Asia Winter School on StringTheory, KIAS, Seoul, Korea, 2007 年 1 月 8–19 日.

[25] 加藤光裕 (組織委員) , Komaba2007 "Recent Developments in Strings and Fields", 東大駒場, 2007 年 2 月 10–11 日.

[26] 風間洋一 (組織委員長) , Komaba2007 "Recent Developments in Strings and Fields", 東大駒場, 2007 年 2 月 10–11 日.

[27] 橋本光士 (組織委員) , Komaba2007 "Recent Developments in Strings and Fields", 東大駒場, 2007 年 2 月 10–11 日.

計画班 A3 超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造

[28] 二宮正夫, 国際研究集会「量子力学とカオス 2007QMC」, 2006 年 9 月 19-21 日.

[29] 大野木哲也, 格子場の理論スクール, 2002 年 10 月 21-25 日.

[30] 大野木哲也, QCD にもとづいた B 中間子崩壊の研究, 2003 年 3 月 24-28 日.

[31] 大野木哲也, 格子理論ミニワークショップ, 2004 年 3 月 24-28 日.

[32] 大野木哲也, 格子ゲージ理論の新しい芽と発展, 2004 年 12 月 8-10 日.

[33] 大野木哲也, ミクロからマクロへマクロからミクロへ, 2005 年 11 月 8-11 日.

[34] 大野木哲也, Actions and Symmetries in Lattice Gauge Theories, 2006 年 2 月 13-26 日.

[35] 笹倉直樹, 「Strings2003」京都国際会館, 2003 年 7 月 6-11 日.

[36] Naoki Sasakura, The 21st Nishinomiya-Yukawa Memorial Symposium "Noncommutative geometry and quantum spacetime in physics", 西宮市夙川公民館・京都大学基礎物理学研究所, 2006 年 11 月 11 ー 15 日.

[37] M. Fukuma, H. Itoyama, T. Nakatsu and A. Tsuchiya, The 17th Nishinomiya-Yukawa Memorial Symposium "String Theory", 2002 年 11 月 12-13 日.

[38] M. Fukuma, H. Itoyama, T. Nakatsu and A. Tsuchiya, 京都大学基礎物理学研究所ワークショップ "Developments of Superstring Theory", 2002 年 11 月 15-16 日.

[39] 糸山浩司, 場の理論・弦理論の進展 (於大阪市立大学学術情報総合センター 1 階文化交流室), 2006 年 2 月 6-7 日.

[40] 原田恒司, 「場の量子論の基礎的諸問題と応用」京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 12 月 19-21 日.

[41] 原田恒司, 「場の量子論の基礎的諸問題と応用」京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 12 月 18-20 日.

[42] 原田恒司, 「場の量子論の基礎的諸問題と応用」京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 12 月 24-26 日.

[43] 原田恒司, 「場の量子論の基礎的諸問題と応用」京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 12 月 16-18 日.

[44] 原田恒司, 「場の量子論の基礎的諸問題と応用」京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 12 月 19-23 日.

[45] 國友浩, 「場の量子論 2001」京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 7 月 16-19 日.

[46] 國友浩, 「場の量子論 2002」京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月 23-26 日.

[47] 國友浩, 「Strings2003」京都国際会館, 2003 年 7 月 6-11 日.

[48] 國友浩, 「場の量子論 2003」京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 8 月 5-8 日.

[49] 國友浩, 「場の量子論 2004」京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 7 月 13-16 日.

[50] 國友浩, 「弦理論場の量子論の展望」京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 8 月 19-23 日.

[51] 國友浩, 「弦理論と場の量子論における新たな進展」京都大学基礎物理学研究所, 2006 年 9 月 12-16 日.

[52] Hiroshi Kunitomo, The 21st Nishinomiya-Yukawa Memorial Symposium “Noncommutative geometry and quantum spacetime in physics”, 西宮市夙川公民館・京都大学基礎物理学研究所, 2006 年 11 月 11 ー 15 日.

計画班 A4 超弦理論の代数的及び幾何的構造の解析

[53] 粟田英資, etc., 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 7 月 16–19 日.

[54] 粟田英資, etc., 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月 23–26 日.

[55] 粟田英資, etc., 場の量子論 2003, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 8 月 5–8 日.

[56] 粟田英資, etc., 場の量子論 2004, 京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 7 月 13–16 日.

[57] 上原正三, etc., 弦理論とゲージ理論の双対性, 2005 年 2 月 14–15 日.

[58] 上原正三, etc., 超弦理論における代数的及び幾何的構造, 2006 年 2 月 23–24 日.

計画班 A5 弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究

[59] 矢彦沢茂明, 弦理論研究会, 2002 年 12 月 26 日 ~ 27 日, 立教大学.

[60] 矢彦沢茂明, 弦理論研究会, 2005 年 2 月 19 日 ~ 20 日, 立教大学.

[61] 矢彦沢茂明, 弦理論研究会, 2006 年 12 月 26 日 ~ 27 日, 立教大学.

計画班 A6 超弦理論に現れる様々なブレーン及び真空の行列を用いた記述とその有効性の研究

[62] 多田司, , 研究会「10th Tohwa University InternationalSymposium on String Theory, 2002 年月日、東和大学.

[63] 郷六一生, 多田司, , 研究会「ブレイン宇宙とバリオジェネシス」、2002 年 3 月 7 日、福岡工業大学.

[64] 郷六一生, 多田司, , 研究会「ブレイン宇宙とストリング」、2003 年 9 月 13 日、福岡工業大学.

[65] 郷六一生, 多田司, , 研究会「弦と場のダイナミクスと宇宙」、2005 年 8 月 27 日、福岡工業大学.

計画班 B7 素粒子論および物性理論における場の理論の諸問題の現代的研究

[66] 河本昇, 札幌冬の学校, 2001 年 1 月 7 日.

[67] 河本昇, 札幌冬の学校, 2002 年 1 月 8 日.

[68] 河本昇, 札幌冬の学校, 2003 年 1 月 8 日.

[69] 河本昇, 札幌冬の学校, 2004 年 1 月 8 日.

[70] 河本昇, 札幌冬の学校, 2005 年 1 月 12 日.

[71] 中山隆一, 札幌秋の学校, 2005 年 10 月 1 日.

[72] 河本昇, 「魅力ある大学院教育イニシアティブ」プログラム 「全国大学院共通滞在型教育プログラム」「札幌冬の学校」, 2006 年 2 月 26 日.

[73] 河本昇, 「魅力ある大学院教育イニシアティブ」プログラム　「全国大学院共通滞在型教育プログラム」「札幌冬の学校」, 2007 年 2 月 2 日.

計画班 B8 非可換空間上の場の理論とその応用

[74] 綿村　哲, International Workshop on Qunatum Field Theory and Noncommutative Geometry , 2002 年 11 月 26-30 日，東北大学・仙台.

[75] 綿村　哲, International Workshop on Noncommutative Geometry and Physics 2004 , 2004 年 2 月 26 日-3 月 3 日，慶応大学・横浜.

[76] 綿村　哲, International Workshop on Noncommutative Geometry and Physics 2005 , 2005 年 11 月 1 日-11 月 11 日，東北大学・仙台/北京大学・北京.

計画班 B9 ゲージ場の量子論におけるフェルミ粒子とソリトン

[77] 藤川和男, International Symposium on the Foundations of Quantum mechanics, ISQM-2001, Tokyo, 2001 年 8 月 27-30 日.

[78] 筒井　泉, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2002 年 12 月 18 日–20 日.

[79] 筒井　泉、藤川和男, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2003 年 12 月 24 日–26 日.

[80] 筒井　泉、藤川和男, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2004 年 12 月 16 日–18 日.

[81] 藤川和男, International Symposium on the Foundations of Quantum mechanics, ISQM-2005, Tokyo, 2005 年 8 月 22-25 日.

[82] 筒井　泉, Supersymmetry, Duality and Unification (東京工大), 2005 年 11 月 19 日.

[83] 筒井　泉、藤川和男, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2005 年 12 月 19 日–23 日.

[84] 筒井　泉, 量子論の諸問題と今後の発展 (KEK), 2006 年 3 月 10 日–11 日.

[85] 筒井　泉, 日米合同物理学会: The Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities, Hawaii, 2006 年 10 月 29 日–11 月 3 日.

[86] 藤川和男, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2006 年 12 月 14 日–16 日.

[87] 筒井　泉, 物理における安定性と不安定性 (KEK), 2007 年 3 月 22 日–23 日.

計画班 B12 ゲージ場の理論の非摂動的解析方法の開発と応用

[88] 平山　実, ゲージ場の理論の諸問題, 2002 年 1 月 8∼10 日.

[89] K-I.Aoki, J.Kubo, H. Terao et. al., Summer Institute 2002, 2002 年 8 月 12∼21 日.

[90] K-I.Aoki et. al., SCGT 2002: Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories, 2002 年 12 月 10∼13 日.

[91] 平山　実, ゲージ場の理論の諸問題, 2003 年 1 月 6∼8 日.

[92] K-I.Aoki, J. Kubo, H. Terao et. al., Summer Institute 2003, 2003 年 8 月 13 日.

[93] 平山　実, ゲージ場の理論の諸問題, 2005 年 1 月 3∼5 日.

[94] K-W.Choi, K.L.Lee, H. Terao et. al., Summer Institute 2006, 2006 年 8 月 23 ～ 30 日.

[95] 平山　実, ゲージ場の理論の諸問題, 2006 年 9 月 19∼21 日.

[96] K-I.Aoki et. al., SCGT 2006: Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories, 2006 年 11 月 21∼24 日.

計画班 B13 物質場と重力における対称性とトポロジー

[97] Takashi Aoki, Shigeru Kanemitsu, Mikio Nakahara, Yasuo Ohno, Zeta Functions, Topology and Quantum Physics, 2003 年 3 月 3 日 ~ 6 日.

[98] Mikio Nakahara, Takashi Aoki, Shigeru Kanemitsu, Yasushi Kondo, Martti M. Salomaa, Shin Takagi, Quantum Computation: Are the DiVincenzo Criteria fulfilled in 2004 ?, 2004 年 5 月 7 日 ~ 8 日.

[99] Kiyoshi Higashijima, Workshop on Renormalization Group, 2004 年 11 月 4 日.

[100] Mikio Nakahara, Yasuto Kawano, Yasushi Kondo, Shogo Tanimura, Paolo Zanardi, Quantum Computing 2005: Algorithms, Physical Realizations and Beyond, 2005 年 9 月 1 日 ~ 2 日.

計画班 B14 対称性の自発的破れを持つ系と非摂動的方法

[101] 川村嘉春, 場の量子論の基礎的諸問題と応用, 2004 年 12 月 16 日から 12 月 18 日.

[102] 川村嘉春, 場の量子論の基礎的諸問題と応用, 2005 年 12 月 19 日から 12 月 23 日.

[103] Yoshiharu Kawamura, Fundamental Problems and Applications of Quantum Field Theory, 2005 年 12 月 19 日から 12 月 23 日.

計画班 C15 大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究

[104] 青木慎也、橋本省二、石川健一、石塚成人、金谷和至、金児隆志、藏増嘉伸、中村純、大野木哲也、谷口祐介、吉江友照, LATTICE2003 - The XXI International Symposium on Lattice Field Theories, 2003 年 7 月 15 日-19 日.

[105] 青木慎也, Winter School and Workshop on Lattice Gauge Theories “Non-perturbative improvement and renormalization”, 2004 年 2 月 2 日-4 日.

[106] 青木慎也、橋本省二、石塚成人、金谷和至、藏増嘉伸、宇川彰、吉江友照, 格子場の理論国際協力ネットワーク第 1 回シンポジウム “Lattice QCD simulations via International Research Network”, 2004 年 9 月 21 日-24 日.

[107] 青木慎也、橋本省二、石塚成人、金谷和至、藏増嘉伸、谷口祐介、宇川彰、吉江友照, 格子場の理論国際協力ネットワーク第 1 回筑波ワークショップ “Lattice QCD and Particle Phenomenology”, 2004 年 12 月 6 日-17 日.

[108] 青木慎也、橋本省二、石塚成人、金谷和至、藏増嘉伸、谷口祐介、宇川彰、吉江友照, 格子場の理論国際協力ネットワーク Nara Workshop “Perspective in lLattice QCD”, 2005 年 10 月 31 日-11 月 9 日.

[109] 青木慎也、橋本省二、谷口祐介, 格子場の理論国際協力ネットワーク第 4 回シンポジウム “Lattice QCD simulations via International Research Network”, 2006 年 3 月 8 日-11 日.

計画班 C16 ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ

[110] H. Suzuki 他, Mini workshop on lattice field theory, 2004 年 5 月 24-28 日.

計画班 C18 強結合場の理論の摂動的および非摂動的解析

[111] 中村純, Finite Density QCD at Nara, 2003 年 7 月 10 日-12 日.

計画班 C19 数値的手法にもとづいたゲージ理論の非摂動的効果の解明

[112] J. Kubo *et.al.*, Summer Institute 2002, 2002 年 8 月 13-20 日, 富士吉田.

[113] J. Kubo *et.al.*, Summer Institute 2003, 2003 年 8 月 12-19 日, 富士吉田.

[114] J. Kubo, E. Seiler and W. Zimmermann, Symposium on Quantum Field Theory, 2004 年 2 月 11-14 日, Ringberg Castle, Germany.

計画班 C20 超対称ゲージ理論の非摂動ダイナミックスに基づくフレーバー物理

[115] J. Kubo *et.al.*, Summer Institute 2002, 2002 年 8 月 13-20 日, 富士吉田.

[116] J. Kubo *et.al.*, Summer Institute 2003, 2003 年 8 月 12-19 日, 富士吉田.

[117] J. Kubo, E. Seiler and W. Zimmermann, Symposium on Quantum Field Theory, 2004 年 2 月 11-14 日, Ringberg Castle, Germany.

計画班 D21 電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用

[118] 吉村太彦, 弟２８回宇宙線国際会議, 2003 年 7 月 31 日–8 月 7 日.

[119] 吉村太彦, マヨラナニュートリノとその周辺, 2006 年 12 月 21–22 日.

計画班 D22 ダークマターの測定とその構造の解明

[120] 岩崎愛一, 場の量子論の基礎的諸問題, 2001 年 12 月 19 日-21 日.

[121] 岩崎愛一, 場の量子論の基礎的諸問題, 2002 年 12 月 18 日-20 日.

[122] 岩崎愛一, 場の量子論の基礎的諸問題, 2003 年 12 月 24 日-26 日.

[123] 岩崎愛一, 場の量子論の基礎的諸問題, 2004 年 12 月 16 日-18 日.

[124] 岩崎愛一, 場の量子論の基礎的諸問題, 2005 年 12 月 18 日-23 日.

計画班 D23 超弦理論の宇宙論による検証

[125] 開催者名, 特異点研究会, 2003 年から 2006 年まで毎年 1 月.

[126] 石原秀樹, The 13-th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, 2003 年 12 月 1 日-4 日.

7　研究成果の取りまとめ状況

本研究領域において得られた研究成果は、すべて英文学術論文として国際学術誌に掲載済み、あるいは投稿中である。また、すべての発表論文は、発表済みや投稿中を問わず、米国のコーネル大学が運営する論文アーカイブ「arXiv」に蓄積されており、インターネットサイト http://arxiv.org を通じて誰でも閲覧できるようになっている。

8　研究成果の公表

主な発表論文、招待講演、学会発表、ホームページの公開などの一覧を、次ページより計画班毎に示す。

計画班: A1

研究課題名: 行列模型を用いた超弦理論の非摂動的効果の研究

研究代表者:	北澤 良久	高エネルギー加速器研究機構・教授
	石橋 延幸	筑波大学・教授
	磯 暁	高エネルギー加速器研究機構・助教授
	西村 淳	高エネルギー加速器研究機構・助教授
	湯川 哲之	総合研究大学院大学・教授
	菅原 寛孝	総合研究大学院大学・理事
	青木 一	佐賀大学・助教授
	夏梅 誠	高エネルギー加速器研究機構・助手
	浜田 賢二	高エネルギー加速器研究機構・助手

重要な成果

現実的な 4 次元ドジッター時空は等質空間の一例であるが、非可換等質空間を超弦理論の非摂動論的定式化をめざす IIB 行列模型において研究した。有効作用のラージ N 極限における振る舞いを、超対称性とパワーカウンティングにより決定し、 4 次元において最小化されることを示した。この結果は、超弦理論の非摂動論的真空が 4 次元ドジッター時空である可能性を示唆する。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

北澤は非可換空間上のゲージ理論でゲージ不変な演算子 (ウイルソンライン) の相関関数の研究を行い、対応する超重力多重項に対応する演算子の具体的な構成を行った。磯は非可換球面上の行列模型を構成してその上のゲージ理論の量子効果を計算した。石橋は膜の理論の量子化を試み量子異常の出現を議論した。浜田は背景場時空独立性をもつ新しい 4 次元量子重力のモデルを提唱した。湯川は 4 次元重力の数値計算を行い浜田の計算との整合性を示した。

平成 14 年度:

北澤は磯らが構成した非可換球面上のゲージ理論をより一般的な等質空間へ拡張した。磯は非可換球面の上で GW 関係式を満たすディラック演算子とカイラル演算子を構成し、コンパクトな非可換空間でのカイラリティの実現を明らかにした。浜田は新しい 4 次元量子重力模型をインフレーション宇宙論へ適用した。

平成 15 年度:

北澤は非可換等質空間上でのゲージ理論の量子効果を計算し、 4 次元非可換等質空間が有効作用を極小化する安定点であることを 2 ループまでの計算で見いだした。石橋は非臨界弦での非摂動効果を行列模型、ループ方程式などの立場から議論し、D インスタントンの化学ポテンシャルの普遍性を示した。磯は非可換超空間の上の行列模型を構成し古典解としてその上のゲージ理論が出てくる事を示した。

平成 16 年度:

北澤はウイルソンラインの相関関数をより詳細に計算し様々な非可換空間の安定性を議論した。磯は北澤が求めた超重力多重項の演算子をより詳細に求め、それが凝縮したときの有効理論について議論した。浜田と湯川は、浜田が提唱した 4 次元量子重力模型から宇宙背景輻射の原始スペクトルを導出し、WMAP で観測された大角度でのスペクトルの鋭い落ち込みを量子重力効果として説明した。

平成 17 年度:

北澤は球面より高い対称性をもつ非可換空間の量子効果を計算し、有効作用が次元のみに依存するユニバーサルなスケール則を示すことを支持する結果を得た。またグラビトン演算子の二点関数を計算して 4 次元的な振る舞いを示す事ができた。石橋は化学ポテンシャルの計算を 2 行列模型まで拡張した。磯はブラックホールからのホーキング輻射を量子異常という現象から説明した。西村はローレンツ対称性の自発的破れの可能性を行列模型で調べた。

平成 18 年度:

浜田と湯川は、新しい量子重力模型での相転移を解析しインフレーション時期の重力ゆらぎの発展方程式を計算している。西村は有限温度での行列模型の振る舞いを調べている。

平成 19 年度:

石橋は Osp 不変な弦の場の理論において D ブレーンに対応すると考えられる BRS 不変な演算子を構築しその性質を議論した。

査読付国際誌への掲載

[1] Yoshihisa Kitazawa and Satoshi Nagaoka, "Graviton propagators on fuzzy G/H", JHEP 0602:001,2006.

[2] Hiromichi Kaneko, Yoshihisa Kitazawa and Dan Tomino, "Fuzzy spacetime with SU(3) isometry in IIB matrix model", Phys.Rev.D73:066001,2006.

[3] S. Iso, H. Umetsu and F. Wilczek, "Hawking Radiation from Charged Black Holes via Gauge and Gravitational Anomalies", Phys. Rev.Letts. 96: 151302 (2006) .

[4] Y. Baba, N. Ishibashi and K. Murakami, "D-branes and closed string field theory", JHEP 0605:029 (2006).

[5] T. Konagaya and J. Nishimura , "Planar dominance in non-commutative field theories at infinite external momentum", Prog.Theor.Phys. 115, 2006, 217-228.

[6] Hiromichi Kaneko, Yoshihisa Kitazawa and Dan Tomino, "Stability of fuzzy S**2 x S**2 x S**2 in IIB type matrix models", Nucl.Phys.B725:93-114,2005 .

[7] Yoshihisa Kitazawa, Yastoshi Takayama and Dan Tomino, "Wilson line correlators in N=4 non-commutative gauge theory on S**2 x S**2", Nucl.Phys.B715:665-694,2005 .

[8] S. Iso, H.Sugino, H. Terachi and H. Umetsu , " Fermionic Backgrounds and Condensation of Supergravity Fields in IIB Matrix Model ", Phys. Rev. D72: 066001 (2005) .

[9] H.Aoki, S.Iso, T.Maeda and K.Nagao, " Dynamical Generation of a Nontrivial Index on the Fuzzy 2-Sphere ", Phys.Rev.D71(2005)045017(10pages) , Erratum: ibid D71(2005)069905.

[10] N. Ishibashi and A. Yamaguchi, "On the Chemical Potential of D-instantons in $c = 0$ Noncritical String Theory", JHEP 0506:082 (2005).

[11] N. Ishibashi, T. Kuroki and A. Yamaguchi, "Universality of nonperturbative effects in $c < 1$ noncritical string theory", JHEP 0509:043 (2005).

[12] Ken-ji Hamada and Tetsuyuki Yukawa, Cosmic microwave background anisotropies reveal quantized gravity, Mod.Phys.Lett.20(2005)509-517.

[13] T. Azuma, K. Nagao, J. Nishimura , "Perturbative dynamics of fuzzy spheres at large N", JHEP 0506, 2005, 081.

[14] J. Nishimura, T. Okubo and F. Sugino , "Gaussian expansion analysis of a matrix model with the spontaneous breakdown of rotational symmetry", Prog.Theor.Phys. 114, 2005, 487-508.

[15] T. Azuma, S. Bal, J. Nishimura , "Dynamical generation of gauge groups in the massive Yang-Mills-Chern-Simons matrix model, ", Phys.Rev. D72 2005 066005.

[16] N. Kawahara and J. Nishimura, " The large N reduction in matrix quantum mechanics: A bridge between BFSS and IKKT", JHEP 0509, 2005, 040.

[17] K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma, K. Nagao, J. Nishimura , "Impact of supersymmetry on the nonperturbative dynamics of fuzzy spheres", JHEP 0509, 2005, 046.

[18] T. Azuma, S. Bal, K. Nagao and J. Nishimura , " Perturbative versus nonperturbative dynamics of the fuzzy $S^2 \times S^2$", JHEP 0509, 2005, 047.

[19] K. Maeda, M. Natsuume, and T. Okamura, "Viscosity of gauge theory plasma with a chemical potential from AdS/CFT", Phys. Rev. D73 (2005) 0602010.

A1

[20] M. Asano, M. Kato, and M. Natsuume, "Physical state representations and gauge fixing in string theory", JHEP11 (2005) 033.

[21] K. Maeda, M. Natsuume, and T. Okamura, "Quasinormal modes for nonextreme Dp-branes and thermalizations of super-Yang-Mills theories", Phys. Rev. D72 (2005) 086012.

[22] Yoshihisa Kitazawa, Yastoshi Takayama and Dan Tomino, "Correlators of matrix models on homogeneous spaces", Nucl.Phys.B700:183-204,2004 .

[23] Takaaki Imai, Yoshihisa Kitazawa, Yastoshi Takayama and Dan Tomino, "Effective actions of matrix models on homogeneous spaces", Nucl.Phys.B679:143-167,2004.

[24] S. Iso, H. Terachi and H. Umetsu , " Wilson Loops and Vertex Operators in Matrix Model ", Phys. Rev. D70 :125005 (2004) .

[25] S. Iso and H. Umetsu , " Note on Gauge Theory on Fuzzy Supersphere ", Phys. Rev. D69: 105014 .

[26] S. Iso and H. Umetsu , " Gauge Theory on Noncommutative Supersphere from Supermatrix Model ", Phys. Rev. D69: 105003 (2004) .

[27] H.Aoki, S.Iso and K.Nagao, " Ginsparg-Wilson Relation and 't Hooft-Polyakov Monopole on Fuzzy 2-Sphere ", Nucl.Phys.B684(2004)162-182.

[28] N. Ishibashi and M. Hayakawa, "Perturbative Dynamics of Matrix String for the Membrane", JHEP 0404:047 (2004).

[29] M. Hanada, M. Hayakawa, N. Ishibashi, H. Kawai, T. Kuroki, Y. Matsuo and T.Tada, "Loop versus Matrices: The Nonperturbative Aspects of Noncritical String", Progress of Theoretical Physics 112, 131-181 (2004).

[30] Takaaki Imai, Yoshihisa Kitazawa, Yastoshi Takayama and Dan Tomino, "Quantum corrections on fuzzy sphere", Nucl.Phys.B665:520-544,2003.

[31] M. Hatsuda, S. Iso and H. Umetsu , " Noncommutative Superspace, Supermatrix and Lowest Landau Level ", Nucl. Phys. B671: 217-242 (2003) .

[32] S. Iso and K. Nagao , "Chiral anomaly and Gisparg-Wilson relation on the noncommutative torus", Prog. Theor. Phys. 109: 1017-1032 (2003) .

[33] H.Aoki, S.Iso and K.Nagao, " Chiral Anomaly on Fuzzy 2-Sphere ", Phys.Rev.D67 065018 (2003).

[34] H.Aoki, S.Iso and K.Nagao, "Ginsparg-Wilson Relation, Topological Invaliants and Finite Noncommutative Geometry ", Phys.Rev.D67 085005 (2003).

[35] K. Hamada and S. Horata, "Conformal Algebra and Physical States in a Non-Critical 3-Brane on $R \times S^3$", Prog. Theor. Phys. 110 (2003) 1169–1210..

[36] Yoshihisa Kitazawa, " Matrix models in homogeneous spaces", Nucl.Phys.B642 210-226 (2002).

[37] Yoshihisa Kitazawa, "Vertex operators in IIB matrix model", JHEP 0204:004 (2002).

[38] H.Aoki, S.Iso and T.Suyama, "Orbifold Matrix Model", Nuclear Physics B634 71-89 (2002).

[39] S.Horata, H.S.Egawa and T. Yukawa, "Matter Dependence of the String Susceptibility Exponent in Four-Dimensional Quantum Gravity", Prog. Theor. Phys. 108 1171-1176 (2002).

[40] K. Hamada, “Resummation and Higher Order Renormalization in 4D Quantum Gravity”, Prog. Theor. Phys. 108 399–433 (2002).

[41] Avinash Dhar and Yoshihisa Kitazawa, “Noncommutative gauge theory, open Wilson lines and closed strings”, JHEP 0108:044,2001 .

[42] Avinash Dhar and Yoshihisa Kitazawa, “Loop equation and Wilson line correlators in noncommutative gauge theories”, Nucl.Phys.B613:105-126,2001 .

[43] T. Azuma, S. Iso, H. Kawai and Y. Ohwashi , “ Supermatrix Models ”, Nucl. Phys. B610: 251-279 (2001) .

[44] S. Iso, Y. Kimura, K. Tanaka and K. Wakatsuki , “ Noncommutative gauge theory on fuzzy sphere from matrix model ”, Nucl. Phys. B604: 121-147 (2001) .

[45] N. Ishibashi and M. Hayakawa, “Perturbative World Volume Dynamics of the Bosonic Membrane and String”, Nuclear Physics B614, 171-194 (2001).

[46] S.Horata, H.S.Egawa, N.Tsuda and T. Yukawa, Phase Structure of Four-Dimensional Simplicial Quantum Gravity with a U(1) gauge Field, Prog. Theor. Phys. 106(2001)1037-1050.

[47] K. Hamada, “A Candidate for A Renormalizable and Diffeomorphism-Invariant 4D Quantum Theory of Gravity”, Prog. Theor. Phys. 103 (2000) 1237–1265..

[48] K. Hamada, “Integrability and Scheme Independence of Even-Dimensional Quantum Geometry Effective Action”, Prog. Theor. Phys. 105 (2001) 673–690..

[49] K. Hamada, “A Dynamical Solution of Stable Starobinsky-Type Inflationary Model in Quantum Geometry”, Mod. Phys. Lett. A16 (2001) 803–808..

[50] K. Hamada, “Building Blocks of Physical States in a Non-Critical 3-Brane on $R \times S^3$”, Prog. Theor. Phys. 105 (2001) 673–690..

国際会議招待講演

[1] Yoshihisa Kitazawa, “Quantum Spacetime in Matrix Models”, Inauguration Conference of Center for Quantum Spacetime in Seoul, 2005 年 10 月 17 日.

[2] Yoshihisa Kitazawa, “Effective actions of matrix models on homogeneous spaces”, Focused research group on string theory in Banff, 2004 年 7 月 20 日.

[3] Yoshihisa Kitazawa, “Wilson lines in noncommutative gauge theories”, Strings 2001 in Mumbai, 2001 年 1 月 8 日.

[4] 湯川哲之, Evolution of a simplicial universe, COSMO05, 2005 年 8 月 28 日.

[5] 湯川哲之, Birth and evolution of simplicial universe, MIAMI05, 2005 年 12 月 17 日.

[6] N. Ishibashi, “On Wrapped Membranes”, Strings 2002, 2002 年 7 月 17 日.

[7] N. Ishibashi, “Perturbative Worldvolume Dynamics of the Bosonic Membrane and String”, Euresco Conference ”Particle Physics and Gravitation”, 2002 年 6 月 4 日.

[8] 磯暁, “Matrix Model”, JGRG １２, ２００２年.

[9] 磯暁, “Matrix models and Noncommutative Geometry”, International workshop on noncommutative geometry and physics, ２００４年２月２６日ー３月３日.

国内会議招待講演

[1] 石橋延幸, 非臨界弦の非摂動効果」, 場の量子論 2004, 2004 年 7 月 14 日.

[2] 石橋延幸, 「An exact bosonization rule for $c = 1$ noncritical string theory」, RIKEN Symposium, International Workshop on Liouville Theory and Matrix Model, 2005 年 6 月 11 日.

[3] 磯暁, 超弦理論と行列模型, 素粒子原子核三者若手夏の学校, ２００２年７月.

[4] 夏梅誠, "Gauge theory plasmas from string theory", 「QCD とハドロン物理の新展開」, 2006 年 3 月 1 日.

[5] 夏梅誠, 「超弦理論と QGP に接点はあるのか」, 日本物理学会 2006 年秋期大会シンポジウム「QGP から sQGP へ」, 2006 年 9 月 21 日 (予定) .

学会発表

[1] 磯　暁、　梅津裕志, 「ホーキング輻射とアノマリー」, 日本物理学会 第５９回年次大会, 2006 年３月２７日.

[2] 浜田賢二, 「Resummation and Higher Order Renormalization in 4D Quantum Gravity」, 日本物理学会 2002 年次秋季大会, 2002 年 9 月 16 日.

[3] 浜田賢二, 「Conformal Algebra and Spectrum of N=4 Super YM on $R * S^3$」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[4] 浜田賢二、湯川哲之、安井良彰, 「Dynamical Scale of Gravity LambdaQG in Primordial Power Spectrum and Low CMB Multipoles」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[5] 青木一, 「弦理論の現状と展望」, 日本物理学会九州支部例会特別講演, 2001 年 12 月 8 日.

[6] 青木一, 磯暁, 須山孝夫, 「Orbifold Matrix Model」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 13 日.

[7] 青木一, 磯暁, 永尾敬一，前田敏治○ , 「ファジィ球面上のダイナミクスによる非自明なインデックスの生成」, 日本物理学会第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[8] 青木一, 磯暁，前田敏治○ , 「Ginsparg-Wilson Dirac operator in the monopole on the fuzzy 2-sphere」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 15 日.

[9] 青木一, 西村淳，壽崎義明○ , 「The index theorem in gauge theory on a discretized 2d noncommutative torus」, 日本物理学会第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

ホームページの公開

[1] 総研大素粒子原子核専攻　http://soken-pn.kek.jp/

[2] KEK 理論研究系　http://research.kek.jp/group/www-theory/

[3] http://research.kek.jp/people/jnishi/

[4] http://research.kek.jp/people/natsuume/

計画班: A2

研究課題名: 超弦理論の時空構造と対称性

研究代表者:	米谷 民明	東京大学大学院・教授
	風間 洋一	東京大学大学院・教授 (H17–18 年度)
	加藤 光裕	東京大学大学院・助教授
	橋本 幸士	東京大学大学院・助手 (H14–16 , 18 年度)
	小竹 悟	信州大学・教授 (H15–18 年度)
	糸山 浩司	大阪市立大学大学院・教授 (H15–16 年度)

A2

重要な成果

有意義な重要成果は多々あるが、最も独創的な成果は、米谷による D 粒子の量子場理論の構築へ向けた着想である。本テーマについては１８年度のいくつかの国際会議で準備的な内容について発表し、現在第１論文を執筆中である。この着想により、弦理論の最大特徴である、開弦と閉弦の双対性や、時空不確定性に現れている短距離時空構造などを量子論における最も根源的な双対性である粒子と場の双対性と関連させた新たな定式化の可能性が開けた。また、D 粒子の力学の非摂動的な定式化へ向けた新たな可能性を示唆している。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

米谷は、supermembrane 理論と 行列模型の関係について，S 双対性に基づかずに matrix string 理論の導出を行った．加藤は，超対称性を非摂動的に定義されたゲージ理論で実現させるための研究に着手し，市松構造の着想を得た．

平成 14 年度:

米谷は，holographic principle の立場から PP-波極限を用いて AdS/CFT 関係を調べるときに存在する困難を，トンネリング描像により解決した．加藤は，市松格子の導入により、ゲージ場と staggered fermion の格子場理論の厳密なフェルミ的対称性を構成した．橋本は，D－ ブレーンの力学，特にタキオンの凝縮を研究しゲージ場の振る舞いを明らかにした．

平成 15 年度:

米谷は，PP-wave 極限の研究を発展させ，共形不変性がない一般の D-ブレーン背景で同様な極限を定式化し，ゲージ理論の 2 点関数を求めた．加藤は，市松格子構造を持つゲージのみの系で相構造を解析的および数値的方法の両面から分析した．橋本は，不安定な D-ブレーンの記述に現れるタキオンの分析を進めた．糸山は Dijkgraaf-Vafa の提案に関して超固有値模型を提示し，行列模型曲線を導いた．小竹は，可解模型の研究を行い，そこに現れる様々な多項式の性質を明らかにした．

平成 16 年度:

米谷は，PP-波極限の holographic principle の定式化を精密化し，３点相関関数を正しく与える弦場理論および boundary-bulk 関係式を導いた．加藤は，格子超対称性の連続極限を議論するための考察を進めた．橋本は，不安定 D ブレーンの研究を進め，弦場理論を用いた解析法を開発した．糸山は，N=2 超対称性の部分的自発的破れの現象の研究を進めた．小竹は，可解模型の構造を支配する多項式の具体的構成を行った．

平成 17 年度:

米谷は，D ブレーンの量子場理論への出発点として，１／２ BPS 状態に限った D ブレーンの Fock 空間とそこに作用する D ブレーン場を構成することに成功した．風間は，超弦理論の共変的量子化に関する pure spinor 形式における作用原理の定式化を行った．加藤は，格子超対称性の連続極限を調べた．小竹は可解模型と共形場理論の関係を調べ，様々な多項式を固有状態とする量子力学系の対称性を調べた．

平成 18 年度:

米谷は，D 粒子の場の理論の構築へ向けた端緒を開き、さらにウィルソンループのホログフィー、1/2BPS 相関関数と行列模型の S 行列との関係を明らかにした．風間は、double spinor formalism を membrane の作用原理に応用した．加藤は共変的弦場の理論の新しいゲージ条件を提唱した．橋本は、D ブレーンの組み替え機構および量子色力学との対応を論じた．小竹は、厳密に解ける量子力学系での sinusoidal coordinate における Heisenberg 表示を調べ、その数理を明らかにした．

A2

査読付国際誌への掲載

[1] T. Yoneya, “String Theory and Gravitation”, Prog Thoer. Phys. Suppl. 144 (2001)176–194.

[2] H. Awata, *M. Li, D. Minic and T. Yoneya, “ On the Quantization of Nambu Bracket”, JHEP02(2001)013.

[3] T. Yoneya, “Space-Time Uncertainty and Noncommutativity”, Int. J. Mod. Phys. A16(2001) 945-956.

[4] Y. Sekino and *T. Yoneya, “From Supermembrane to Matrix String”, Nucl. Phys. B619 (2001)22-50.

[5] T. Hara and *T. Yoneya, “Nonlinear Supersymmetry without the GSO Projection and Unstable D9 Brane”, Nucl. Phys. B602 (2001)499-513.

[6] T. Yoneya, “String Theory and the Uncertainty Principle”, Current Sci. 8 (2001)1554–1560.

[7] T. Yoneya, “World-Sheet String Duality and the Hidden Supersymmetry”, AIP Proc. 607(2002) 279-289.

[8] K. Itoh, M. Kato, H. Sawanaka, H. So and N. Ukita, “Super Yang-Mills Theory on Lattice and the Transformation”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 106 (2002) 947–949.

[9] K. Itoh, M. Kato, H. Sawanaka, H. So and N. Ukita, “Toward a Super Yang-Mills Theory on the Lattice”, Prog. Theor. Phys. 108 (2002) 363–374.

[10] K. Hashimoto and N. Sakai, “Brane - antibrane as a defect of tachyon condensation”, JHEP **0212**, 064 (2002).

[11] G. Gibbons, K. Hashimoto and P. Yi, “Tachyon condensates, Carrollian contraction of Lorentz group, and fundamental strings”, JHEP **0209**, 061 (2002).

[12] K. Hashimoto, “Dynamical decay of brane-antibrane and dielectric brane”, JHEP **0207**, 035 (2002).

[13] K. Hashimoto and S. Nagaoka, “Realization of brane descent relations in effective theories”, Phys. Rev. D **66**, 026001 (2002).

[14] S. Dobashi, H. Shimada and *T. Yoneya, “Holographic Reformulation of String Theory on AdS5xS5 background in the PP-wave limit ”, Nucl. Phys. B665 (2003)94-128.

[15] T. Yoneya, “What is Holography in the Plane-Wave Limit of the AdS/SYM Correspondence? ”, Prog Theor. Phys. Suppl. 152 (2003)108-120.

[16] K. Itoh, M. Kato, H. Sawanaka, H. So and N. Ukita, “Fermionic Symmetry in Ichimatsu Decomposed Lattice Models”, Nucl.?Phys.?Proc.?Suppl. 119 (2003) 903–905.

[17] K. Itoh, M. Kato, M. Murata, H. Sawanaka and H. So, “Vacuum Structure of the Ichimatsu Decomposed Lattice Models”, Nucl.?Phys.?Proc.?Suppl. 119 (2003) 906–908.

[18] K. Itoh, M. Kato, H. Sawanaka, H. So and N. Ukita, “Novel Approach to Super Yang-Mills Theory on Lattice –Exact fermionic symmetry and ‘Ichimatsu’ pattern–”, JHEP 0302 (2003) 033.

[19] K. Hashimoto and W. Taylor, “Strings between branes”, JHEP **0310**, 040 (2003).

[20] K. Hashimoto and S. Nagaoka, "Recombination of intersecting D-branes by local tachyon condensation", JHEP **0306**, 034 (2003).

[21] K. Hashimoto, P. M. Ho, S. Nagaoka and J. E. Wang, "Time evolution via S-branes", Phys. Rev. D **68**, 026007 (2003).

[22] K. Hashimoto, P. M. Ho and J. E. Wang, "S-brane actions", Phys. Rev. Lett. **90**, 141601 (2003).

[23] H. Itoyama and A. Morozov, Gluino-Condensate (CIV-DV) Prepotential from its Whitham-Time Derivatives, Int.J.Mod.Phys. A18 (2003) 5889-5906.

[24] H. Itoyama and A. Morozov, Calculating Gluino-Condensate Prepotential, Prog.Theor.Phys. 109 (2003) 433-463.

[25] H. Itoyama and A. Morozov, Experiments with the WDVV equations for the gluino-condensate prepotential: the cubic (two-cut) case, Phys.Lett. B555 (2003) 287-295.

[26] H. Itoyama and A. Morozov, The Dijkgraaf-Vafa prepotential in the context of general Seiberg-Witten theory, Nucl.Phys. B657 (2003) 53-78.

[27] H. Itoyama and H. Kanno, Supereigenvalue Model and Dijkgraaf-Vafa Proposal, Phys.Lett. B573 (2003) 227-234.

[28] M. Asano, Y. Sekino and *T. Yoneya, "PP-Wave Holography for Dp-Brane Backgrounds", Nu cl. Phys. B678 (2004)197-232.

[29] Y. Aisaka and *Y. Kazama, "Relating Green-Schwarz and Extended Pure Spinor Formalisms by Similarity Transformation", JHEP **0404**, 070 (2004) .

[30] K. Hashimoto and S. Terashima, "Boundary string field theory as a field theory: Mass spectrum and interaction", JHEP **0410**, 040 (2004).

[31] K. Hashimoto and S. Terashima, "Brane decay and death of open strings", JHEP **0406**, 048 (2004).

[32] K. Hashimoto, "The shape of non-Abelian D-branes", JHEP **0404**, 004 (2004).

[33] S.Odake and R.Sasaki, "Equilibria of 'Discrete' Integrable Systems and Deformations of Classical Orthogonal Polynomials", Journal of Physics **A** : Mathematics and General **37** (2004) 11841-11876.

[34] S.Odake and R.Sasaki, "Polynomials Associated with Equilibria of Affine Toda-Sutherland Systems", Journal of Physics **A** : Mathematics and General **37** (2004) 11401-11406.

[35] H. Itoyama and H. Kanno, Whitham Prepotential and Superpotential, Nucl.Phys. B686 (2004) 155-164.

[36] K. Fujiwara, H. Itoyama and M. Sakaguchi, "Supersymmetric U(N) Gauge Model and Partial Breaking of N=2 Supersymmetry", Prog.Theor.Phys.113(2004)429-455.

[37] S. Dobashi and *T. Yoneya, "Resolving the Holography in the Plane-Wave LImit of AdS/CFT Correspondence ", Nucl. Phys. B711 (2005)3-53.

[38] S. Dobashi and *T. Yoneya, "Impurity Non-Preserving 3-Point Correlators of BMN Operators from PP-Wave Holography I: Bosonic Excitations", Nucl. Phys. B711 (2005)54-82.

[39] T. Yoneya, "Extended Fermion Representation of Multi-Charge 1/2-BPS Operators in AdS/CFT", JHEP12(2005)028.

[40] Y. Aisaka and *Y. Kazama, "Origin of Pure Spinor Superstring", JHEP **0505**, 046 (2005).

[41] K. Itoh, M. Kato, M. Murata, H. Sawanaka, and H. So, "Genuine Symmetry of Staggered Fermion", Prog. Theor. Phys. 114 (2005) 631–641.

[42] M. Kato, M. Sakamoto and H. So, "Leibniz rule and exact supersymmetry on lattice: a case of supersymmetrical quantum mechanics", PoS?LAT2005 (2005) 274.

[43] M. Asano, M. Kato and M. Natsuume, "Physical state representations and gauge fixing in string theory", JHEP 0511 (2005) 033.

[44] K. Hashimoto and S. Terashima, "Stringy derivation of Nahm construction of monopoles", JHEP **0509**, 055 (2005).

[45] K. Hashimoto and D. Tong, "Reconnection of non-abelian cosmic strings", JCAP **0509**, 004 (2005).

[46] A. Hanany and K. Hashimoto, "Reconnection of colliding cosmic strings", JHEP **0506**, 021 (2005).

[47] K. Hashimoto, P. M. Ho and J. E. Wang, "Birth of closed strings and death of open strings during tachyon condensation", Mod. Phys. Lett. A **20**, 79 (2005).

[48] S.Odake and R.Sasaki, "Shape Invariant Potentials in "Discrete Quantum Mechanics"", Journal of Nonlinear Mathematical Physics **12** Supplement 1 (2005) 507-521.

[49] S.Odake and R.Sasaki, "Equilibrium Positions, Shape Invariance and Askey-Wilson Polynomials", Journal of Mathematical Physics **46** (2005) 063513.

[50] S.Odake and R.Sasaki, "Calogero-Sutherland-Moser Systems, Ruijsenaars-Schneider-van Diejen Systems and Orthogonal Polynomials", Progress of Theoretical Physics **114** (2005) 1245-1260.

[51] Y. Aisaka and *Y. Kazama, "Towards pure spinor type covariant description of supermembrane — an approach from the double spinor formalism", JHEP **0605**, 041 (2006).

[52] Y. Aisaka and *Y. Kazama, "Towards pure spinor type covariant description of supermembrane — an approach from the double spinor formalism", JHEP **0605**, 041 (2006).

[53] T. Yoneya, "Holography in the Large J Limit of AdS/CFT Correspondence and Its Applications", Prog. Theor. Phys. Suppl. **164**(2006) 82-102.

[54] A. Miwa and *T. Yoneya, "Holography of Wilson-Loop Expectation Values with Local Operator Insertions", JHEP **0612**:060,2006.

[55] A. Jevicki and *T. Yoneya, "1/2-BPS Correlators as c=1S-matrix", JHEP **03**:001,2007.

[56] M. Asano and *M. Kato, "New Covariant Gauges in String Field Theory", Prog. Theor. Phys. **117** (2007) 569-587.

[57] M. Asano and *M. Kato, "Level Truncated Tachyon Potential in Various Gauges", JHEP **0701** (2007) 028.

[58] K. Hashimoto and S. Terashima, "ADHM is tachyon condensation", JHEP **0602**:018,2006.

[59] H.-Yu Chen, M. Eto and K. Hashimoto, "The Shape of Instantons: Cross-Section of Supertubes and Dyonic Instantons", JHEP **0701**:017,2007.

[60] M. Eto, K. Hashimoto, G. Marmorini, M. Nitta, K. Ohashi and W. Vinci, "Universal Reconnection of Non-Abelian Cosmic Strings", Phys.Rev.Lett. **98**:091602,2007.

[61] M. Eto, K. Hashimoto and S. Terashima, "Solitons in Supersymmety Breaking Meta-Stable Vacua", JHEP **0703**:061,2007.

A2

[62] S.Odake and R.Sasaki, "Unified Theory of Annihilation-Creation Operators for Solvable ('Discrete') Quantum Mechanics", Jour. Math. Physi. **47**102102, 2006.

[63] S.Odake and R.Sasaki, "Exact solution in the Heisenberg picture and annihilation-creation operators", Phys. Lett. **B641**112-117, 2006.

国際会議招待講演

[1] T. Yoneya, "Aspects of String Theory: Symmetry and Dynamics", Beijing Summer Institute on String Theory, ITP, Beijing, 2001 年 6 月 22 日.

[2] T. Yoneya, "World-Sheet String Duality and the Hidden Supersymmetry", 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Fukuoka, 2001 年 7 月 3 日.

[3] K. Hashimoto, "Realization of Brane Descent Relations in Efective Theories", KIAS workshop on Strings and Branes, KIAS, Seoul, 2002 年 5 月 19 日.

[4] T. Yoneya, "Matrix Theory From Wrapped Supermebrane, and String From Matrix Theory", Third International Sahkarov Conference on Physics, Moscow, 2002 年 6 月 26 日.

[5] T. Yoneya, "Holography and the Plane-Wave Limit of AdS/CFT Correspondence", Nishinomiya Yukawa Memorial International Symposium, Nishinomiya , 2002 年 11 月 13 日.

[6] T. Yoneya, "What is holography in the Plane-Wave Limit of the AdS.CFT Correspondence?", Strings 2003 International Conference, Kyoto , 2003 年 7 月 10 日.

[7] K. Hashimoto, "Sen's conjectures in Yang-Mills Recombination of Intersecting D-branes", Strings 2003 International Conference, Kyoto , 2003 年 7 月 11 日.

[8] H. Itoyama, "Whitham Prepotential and Superpotential", International Workshop "Quantum Particles, Fields and Strings2", Zagulba Settlement, Baku, Azerbaijan , 2003 年 9 月.

[9] K. Hashimoto, "Charge distribution in matrix configurations of D0-branes", Workshop on Branes and Generalized Dynamics, Argonne National Laboratory, 2003 年 10 月 20 日.

[10] Y.Kazama, "Pure Spinor Formalism and its Extension for Superstring", International Workshop Komaba 2003, The University of Tokyo, 2003 年 11 月 27 日.

[11] H. Itoyama, "Description of N=1 supersymmetric gauge theory from Whitham integrable system and gluino condensate prepotential", International Workshop Komaba 2003, The University of Tokyo, 2003 年 11 月 27 日.

[12] K. Hashimoto, "Death of open strings in brane decay", SUSY04 International Conference, Tsukuba , 2004 年 6 月.

[13] H. Itoyama, "Supersymmetric U(N) Gauge Model and Partial Breaking of N=2 Supersymmetry", SUSY04 International Conference, Tsukuba , 2004 年 6 月.

[14] T. Yoneya, "Holography in the BMN limit of AdS/CFT correspondence", Frontiers of Quantum Science, YITP, Kyoto , 2005 年 2 月 18 日.

[15] H. Itoyama, "Supersymmetric U(N) Gauge Model and Partial Breaking of N=2 Supersymmetry", Frontier of Quantum Physics, YITP, Kyoto, 2005 年 2 月 19 日.

[16] T. Yoneya, "Extended fermion representation of general 1/2-BPS operators in AdS/CFT", Cosmological Landscape:Strings, Gravity and Inflation, KIAS, Seoul , 2005 年 9 月 23 日.

[17] K. Hashimoto, “ADHM is a Tachyon Condensation”, Chirstmas meeting, University of Barcelona, 2005 年 12 月 21 日.

[18] K. Hashimoto, “Reconnection of Colliding Cosmic Strings”, Workshop on String Phenomenology, Perimeter Institute, 2005 年 3 月 29 日.

[19] K. Hashimoto, “Solitons in SUSY-breaking meta-stable vacua”, International Workshop ‘Non-commutativity in strings, gravity and field theory’, Metropolitan University Tokyo, Tokyo, 2006 年 11 月 14 日.

[20] T. Yoneya, “Space-time uncertainty and approaches to D-brane field theory”, Nishinomiya-Yukawa Memorial Symposium, Nishinomiya and YITP, Kyoto, 2006 年 11 月 15 日.

[21] T. Yoneya, “Towards Field Theory of D-Particles”, Komaba 2007 International Workshop, Univ. of Tokyo, Komaba, Tokyo, 2007 年 2 月 11 日.

国内会議招待講演

[1] 米谷民明, “Spontaneously Broken Space-Time Supersymmetry in Open-String Theory without GSO Projection”, 場の理論ワークショップ，小樽, 2001 年 6 月 10 日.

[2] 米谷民明,「量子重力とは何か」, 日本宇宙フォーラム微小重力ワーキンググループ講演会, 2001 年 10 月 25 日.

[3] 米谷民明, “What is M(atrix) theory?”, KEK 理論研究会, KEK, 2002 年 3 月 20 日.

[4] 米谷民明, “Holographic principle and the plane-wave limit of AdS/CFT correspondence”, 場の理論の基礎的諸問題と応用, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 12 月 19 日.

[5] 米谷民明, “Holographic principle and the plane-wave limit of AdS/CFT correspondence”, 弦理論研究会, 立教大学, 2002 年 12 月 28 日.

[6] 橋本幸士, “Rolling Tachyon and S-brane Actions”, 弦理論研究会，立教大学, 2002 年 12 月 26 日.

[7] 橋本幸士, “Dynamical Decay of Branes”, 余剰次元とブレーンワールド，京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 1 月 7 日.

[8] 加藤光裕, “実験家のための弦理論入門”, 素粒子物理国際センターシンポジウム, 2003 年 2 月 21–22 日.

[9] 米谷民明, “What is holography in the plane-wave limit?”, KEK 理論研究会，KEK, 2003 年 3 月 19 日.

[10] 橋本幸士, “Unstable intersecting D-branes”, Mini workshop on D-brane/string Cosmology, 理化学研究所理論物理学研究室, 2004 年 1 月 24 日.

[11] 米谷民明, “ Revisiting 2D string physics and matrix models-0A black holes, deformed matrix model, and beyond–”, KEK 理論研究会, 2004 年 3 月 20 日.

[12] 橋本幸士, “The shape of nonabelian D-branes”, KEK 理論研究会, KEK, 2004 年 3 月 18 日.

[13] 風間洋一, “Pure Spinor and Superstring”, 日本物理学会第 59 回年次大会特別講演, 2004 年 3 月２８日.

[14] 小竹悟,「Ruijsenaars 模型の古典平衡点と変形された直交多項式」, 第２１回代数的組み合わせ論シンポジウム, 信州大学, 2004 年 6 月 28 日.

[15] 小竹悟,「Ruijsenaars-Schneider 模型の古典平衡点と変形された直交多項式」, 場の量子論２００４, 京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 7 月 14 日.

A2

[16] 糸山浩, “Supersymmetric U(N) Gauge Model and Partial Breaking of N=2 Supersymmetry ”, 場の量子論２００４，京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 7 月.

[17] 糸山浩, “Prepotential and Superpotential”, 理研集中セミナー，理化学研究所, 2004 年 7 月.

[18] 糸山浩, “Prepotential and Superpotential”, Mathematical aspects of string theory, 京都大学理学部数学教室, 2004 年 7 月.

[19] 糸山浩司, 「Introduction to String Theory」, 研究集会”Intelligence of Low Dimentional Topology”(於大阪市立大学文化交流センター), 2004 年 10 月.

[20] 糸山浩司, 「Supersymmetric U(N) Gauge Model and Partial Breaking of N=2 Supersymmetry」, KEK Theory Workshop 2005 (於高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所), 2005 年 3 月.

[21] 米谷民明,「Holography と BMN 極限を巡って」, 弦理論研究会, 立教大学, 2005 年 2 月 20 日.

[22] 米谷民明, 「一般相対性理論と素粒子論」, 日本物理学会第６０回年次大会シンポジウム講演，東京理科大学, 2005 年３月 25 日.

[23] 風間洋一, “Covariant Quantization of Superbranes”, 場の理論・弦理論の展望，京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 8 月 21 日.

[24] 加藤光裕, “SLE and CFT”, 基研研究会「弦理論、場の量子論の展望」, 2005 年 8 月 23 日.

[25] 風間洋一, “Covariant Quantization of Superbranes”, 場の理論・弦理論の進展，大阪市立大学, 2006 年 2 月 6 日.

[26] 米谷民明, “Extended fermion representation of 1/2-BPS operators in AdS/CFT: Towards field theory of D-branes”, 場の理論・弦理論の進展，大阪市立大学, 2006 年 2 月 7 日.

[27] 米谷民明, “Towards field theory of D-branes”, KEK 理論研究会, KEK, 2006 年 3 月 17 日.

[28] 小竹 悟, “量子力学における生成消滅演算子”, 「中部夏の学校 2006：『弦理論におけるくりこみ群的手法』」, 2006 年 8 月 25 日.

[29] 小竹 悟, “Unified Theory of Annihilation-Creation Operators for Solvable (‘Discrete’) Quantum Mechanics”, 東京無限可積分セミナー玉原合宿 2006, 2006 年 9 月 6 日.

[30] 小竹 悟, “Unified Theory of Annihilation-Creation Operators for Solvable (‘Discrete’) Quantum Mechanics”, 基研研究会「弦理論と場の量子論における新たな進展」, 2006 年 9 月 16 日.

[31] 小竹 悟, “Unified Theory of Annihilation-Creation Operators for Solvable (‘Discrete’) Quantum Mechanics”, 横田一郎先生傘寿記念研究集会「リー群と関連分野」, 2006 年 10 月 8 日.

[32] 橋本幸士, “Cosmic Strings in SUSY-breaking meta-stable vacua”, 「弦理論研究会」, 立教大学, 2006 年 12 月 26 日.

[33] 米谷民明, “1/2-BPS correlators as c=1 S-matrix”, 「弦理論研究会」, 立教大学, 2006 年 12 月 27 日.

学会発表

[1] 伊藤克美, 加藤光裕, 宗博人, 澤中英之, 浮田尚哉, “Towards the Super Yang-Mills Model on Lattice”, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[2] 伊藤克美, 加藤光裕, 宗博人, 澤中英之, 浮田尚哉, “Exact fermionic symmetry on the Ichimatsu pattern lattice”, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 2002 年 9 月 13 日.

[3] 中村真，糸山浩司, “Off-shell Crosscap State and Orientifold Planes with Background Dilatons”, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 2002 年 9 月 13 日.

[4] 伊藤克美, 加藤光裕, 村田享香, 澤中英之, 宗博人, “Vacuum Structure of Ichimatsu Lattice Gauge Theory”, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[5] 島田英彦，土橋卓，米谷民明, “Holographic reformulation of string field theory on AdSxS5 background in the PP-wave limit I”, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[6] 島田英彦，土橋卓，米谷民明, “Holographic reformulation of string field theory on AdSxS5 background in the PP-wave limit II”, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 30.

[7] 浅野雅子，関野恭弘，米谷民明, “Holography for Dp-Brane Backgrounds”, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2003 年 3 月.

[8] 土橋 卓, 米谷民明, “Resolving the Holography in the PP-wave Limit of AdS/SYM Correspondence”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 2004 年 9 月 27 日.

[9] K. Hashimoto, “Mass Spectrum and Interaction in Boundary String Field Theory”, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 27 日.

[10] 伊藤克美, 加藤光裕, 澤中英之, 宗博人, 村田享香, “Exact Symmetry in Staggered Fermion”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 2004 年 9 月 30 日.

[11] 浅野雅子, 加藤光裕, 夏梅誠, “弦のゲージ固定と物理的状態の表現について”, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[12] 土橋 卓, 米谷民明, “Impurity Non-Preserving 3-Point Correlators of BMN Operators from PP-Wave Holography”, 日本物理学会第６０回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[13] K. Hashimoto, “ADHM is a tachyon condensation”, 環太平洋地域素粒子物理合同会議, Hawaii, 2006 年 10 月 29 日.

[14] 三輪光嗣, 米谷民明, “Holographic Study of Deformed Wilson Loop Operator”, 環太平洋地域素粒子物理合同会議, Hawaii, 2006 年 10 月 30 日.

[15] 風間洋一, “Covariant Quantization of Superbranes”, 環太平洋地域素粒子物理合同会議, Hawaii, 2006 年 10 月 30 日.

[16] 小竹悟, “Unified Theory of Annihilation-Creation Operators for Solvable (‘Discrete’)Quantum Mechanics, 環太平洋地域素粒子物理合同会議, Hawaii, 2006 年 11 月 1 日.

ホームページの公開

[1] http://hep1.c.u-tokyo.ac.jp/ (米谷民明, 風間洋一, 加藤光裕, 橋本幸士)

[2] http://wwwphys.sci.osaka-cu.ac.jp/mathsci/main.html (糸山浩司)

計画班: A3

研究課題名: 超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造

研究代表者:	二宮 正夫	京都大学基礎物理学研究所・教授
	益川 敏英	京都産業大学・教授
	川合 光	京都大学大学院・教授
	畑 浩之	京都大学大学院・教授
	國友 浩	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	大野木 哲也	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	笹倉 直樹	京都大学基礎物理学研究所・助教授
	福間 将文	京都大学大学院・助教授
	糸山 浩司	大阪市立大学大学院・教授 (H17–18 年度)
	米山 博志	佐賀大学・教授 (H17–18 年度)
	原田 恒司	九州大学大学院・助教授 (H15–18 年度)

重要な成果

二宮は川合・福間と共に超弦理論を応用してビッグバン前後の超初期の宇宙構造の研究を行ない、プレビッグバン理論を提唱した。また、Holger B. Nielsen 氏と共に場の理論の長年の難問であったボソンに対する Hole Theory の構成を行なった。川合は超弦理論を構成的に定義した。原理的に物理量を数値計算により求まるようにし、重力まで含めた究極の統一理論を構築するよう行列模型を構成して、非摂動的に研究を進めた。大野木哲也を含む研究チームは、格子ＱＣＤによって、自発的カイラル対称性の破れの現象を世界で初めて厳密に実証した。即ち、クォークの質量がゼロに近いときに、シミュレーションの結果をカイラル対称性の破れから予言されるエネルギー準位と比較することで、量子色力学が自発的カイラル対称性の破れを引き起こすことを示した。これは、物質の質量生成の起源に対する理解にゆるぎない基礎をあたえる研究成果であり、量子色力学にもとづくハドロン (陽子・中性子・パイ中間子等) や原子核の性質の解明に道を拓くものである。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

川合らは提唱している超弦理論の構成的定義の IIB 行列理論を超対称性を取り入れた超対称行列模型へと進化させた。θ 項を含む場の理論としての CP^{N-1} 模型の連続極限の性質を、固定点作用を用いた数値シミュレーションの方法で調べ、スケーリングが成り立つことを検証した。

平成 14 年度:

川合らは IIB 行列理論から平均場近似を用いて、 4 次元時空を導出する事に成功した。2 次元重力におけるホログラフィー原理の定式化はこれまで謎であったが、ワイル・アノマリーを正しく考慮することによりホログラフィー原理が非自明に成立することを示し、高次元で期待されるようなエントロピーの上限が 2 次元にも存在することを確かめた。

平成 15 年度:

二宮・川合・福間は超弦理論の基本的事項だけを用いて、超初期の宇宙論に応用し、ビッグバン・ビッグクランチを 30 ~ 50 回くり返すことによって現在の宇宙に達するという、インフラトンを必要としない初期宇宙モデルとして「サイクリックユニバースモデル」を構成した。時空間の不確定性より導かれるエントロピー公式が弦理論の双対性に対し不変であることを示した。

平成 16 年度:

二宮は H.B.Nielsen と共同で場の量子論の長年の難問「ボソンに対し如何にホール理論を構成するか」について、ボソンの Dirac Sea を具体的に構成し、解決の突破口を作るのに成功した。川合らは自らの超弦の行列理論を応用して、格子場の理論においてカイラル対称なフェルミオン場の理論が Nielsen-二宮 の No-Go 定理を Fuzzy Shpere を用いることにより避けることが出来ることを示した。VSFT において、摂動論的不安定真空が安定真空に崩壊して行く過程を表す古典解を厳密に構成し、その様々な性質を解析的および数値的に研究した。新しく発見された Θ^+ 共鳴の性質を、Skyrme 模型に「有効理論」的な考えを導入して解析し、崩壊確率の計算には大きな不定性があることを指摘、実験的に得られている非常に狭い崩壊幅を得ることが困難であることを示した。

平成 17 年度:

二宮は H.B.Nielsen と共同で、宇宙論の法則と熱力学の第 2 法則を統一するモデルを提唱し、宇宙項問題とインフレーション問題を解決する手がかりを与えた。川合らは超弦理論の行列理論から曲がった時空を導出する方法を提案した。現在の格子 QCD の近似にともなう系統誤差を格段に減少させるため、軽いクォークの新しい定式化、重いクォークの新しい定式化の研究を行った。

拡大超対称性の部分的自発的破れをおこす $U(N)$ ゲージ模型の質量スペクトル等を調べた。

平成 18 年度:

二宮は H.B.Nielsen と共同で、初期宇宙論の研究に必須の熱力学の第 2 法則の研究から、その背後にある基本法則のモデルを構成した。川合らは、タイプ IIB 行列理論から 4 次元時空を導出した。また、その安定性を解析的・数値的に研究した。CSW 則を拡張して、$N = 1$ 超対称 QCD における任意の MHV 振幅を計算した。

A3

査読付国際誌への掲載

[1] Dirac Sea for Bosons also and SUSY for Single Particles, Yoshinobu Habara, Holger B. Nielsen, Masao Ninomiya, Prog.Theor.Phys.Suppl. **164** (2007) 68-81.

[2] Cyclic Universe à la string theory, Yoshinobu Habara, Hikaru Kawai, Masao Ninomiya, Prog.Theor.Phys.Suppl. **164** (2007) 7-16.

[3] Masafumi Fukuma, Hikaru Kawai and Masao Ninomiya, Limiting temperature, limiting curvature and the cyclic universe, Int.J.Mod.Phys.A **19** (2004) 4367-4386.

[4] Yoshinobu Habara, Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Boson sea versus Dirac sea: General formulation of boson sea through supersymmetry, Int.J.Mod.Phys.A **19** (2004) 5561-5584.

[5] Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Dirac sea for bosons. I: Formulation of negative energy sea for bosons, Prog.Theor.Phys. **113** (2005) 603-624.

[6] Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Dirac sea for bosons II: Study of the naive vacuum theory for the playground world prior to filling the negative energy sea, Prog.Theor.Phys.**113** (2005) 625-643.

[7] Yoshinobu Habara, Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Supersymmetric relativistic quantum mechanics, Int.J.Mod.Phys.A **21** (2006) 1333-1340.

[8] Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Unification of cosmology and second law of thermodynamics: Solving cosmological constant problem, and inflation, Prog.Theor.Phys. **116** (2007) 851-871.

[9] Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Intrinsic periodicity of time and non-maximal entropy of universe., Int.J.Mod.Phys. A**21** (2006) 5151-5162.

[10] Holger B. Nielsen and Masao Ninomiya, Law behind second law of thermodynamics - unification with cosmology-, JHEP **0603** (2006) 057.

[11] Ko Furuta, Masanori Hanada, Hikaru Kawai, Yusuke Kimura, Field Equations of Massless Fields in the New Interpretation of the Matrix Model, Nucl.Phys. B767 (2007) 82-99.

[12] Masanori Hanada, Takashi Kanai, Hikaru Kawai, Fukuichiro Kubo, Phase structure of the large-N reduced gauge theory and generalized Weingarten model, Prog.Theor.Phys. 115 (2006) 1167-1177.

[13] T. Aoyama, H. Kawai, Higher Order Terms of Improved Mean Field Approximation for IIB Matrix Model and Emergence of Four-dimensional Space-time, Prog.Theor.Phys. 116 (2006) 405-415.

[14] T. Aoyama, H. Kawai, Y. Shibusa, Stability of 4-dimensional Space-time from IIB Matrix Model via Improved Mean Field Approximation, Prog.Theor.Phys. 115 (2006) 1179-1187.

[15] Masanori Hanada, Hikaru Kawai, Yusuke Kimura, Curved Superspaces and Local Supersymmetry in Supermatrix Model, Prog.Theor.Phys. 115 (2006) 1003-1025.

[16] Masanori Hanada, Hikaru Kawai and Yusuke Kimura, Describing curved spaces by matrices, Prog.Theor.Phys.114:1295-1316,2006 .

[17] Subrata Bal, Masanori Hanada, Hikaru Kawai and Fukuichiro Kubo, Fuzzy torus in matrix model, Nucl.Phys.B727:196-217,2005 .

[18] Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki, Takeshi Morita and Kensuke Yoshida, Direct derivation of the Venziano-Yankielowicz superpotential from matrix model, Phys.Lett.B611:269-278,2005 .

[19] Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki and Yoshinori Matsuo, Universality of nonperturbative effect in type 0 string theory, Nucl.Phys.B711:253-274,2005.

[20] Masanori Hanada, Masashi Hayakawa, Nobuyuki Ishibashi, Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki, Yoshinori Matsuo and Tsukasa Tada, Loops versus matrices: The Nonperturbative aspects of noncritical string, Prog.Theor.Phys.112:131-181,2004.

[21] Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki and Takeshi Morita, Supersymmetric large N reduced model with multiple matter, Nucl.Phys.B683:27-47,2004.

[22] Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki and Takeshi Morita, Dijkgraaf-Vafa theory as large N reduction, Nucl.Phys.B664:185-212,2003 .

[23] H. Kawai, S. Kawamoto, T. Kuroki and S. Shinohara, Improved perturbation theory and four-dimensional space-time in IIB matrix model, Prog.Theor.Phys.109:115-132,2003 .

[24] H. Kawai, S. Kawamoto, T. Kuroki, T. Matsuo and S. Shinohara, Mean field approximation of IIB matrix model and emergence of four-dimensional space-time, Nucl.Phys.B647:153-189,2002.

[25] Takehiro Azuma and Hikaru Kawai, Matrix model with manifest general coordinate invariance, Phys.Lett.B538:393-405,2002 .

[26] Hikaru Kawai, Tsunehide Kuroki, Strings as Flux Tube and Deconfinement on Branes in Gauge Theories, Phys.Lett. B518 (2001) 294-300.

[27] Takehiro Azuma, Hikaru Kawai, OPE between the energy-momentum tensor and the Wilson loop in N=4 Super-Yang-Mills theory, Prog.Theor.Phys. 106 (2001) 255-292.

[28] Takehiro Azuma, Satoshi Iso, Hikaru Kawai, Yuhi Ohwashi, Supermatrix Models, Nucl.Phys. B610 (2001) 251-279.

[29] H. Hata and T. Kawano, "Open string states around a classical solution in vacuum string field theory", JHEP **0111**, 038 (2001).

[30] H. Hata and S. Teraguchi, "Test of the absence of kinetic terms around the tachyon vacuum in cubic string field theory", JHEP **0105**, 045 (2001).

[31] T. Endoh, T. Morozumi, T. Onogi and A. Purwanto, "CP violation in seesaw model", Phys. Rev. D **64**, 013006 (2001) [Erratum-ibid. D **64**, 059904 (2001)].

[32] J. Harada, A. S. Kronfeld, H. Matsufuru, N. Nakajima and T. Onogi, "O(a)-improved quark action on anisotropic lattices and perturbative renormalization of heavy-light currents", Phys. Rev. D **64**, 074501 (2001) .

[33] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada T. Yoshie, S. Aoki *et al.* [JLQCD Collaboration], "Differential decay rate of B → pi l nu semileptonic decay with lattice NRQCD", Phys. Rev. D **64**, 114505 (2001).

[34] H. Matsufuru, T. Onogi and T. Umeda, "Numerical study of O(a) improved Wilson quark action on anisotropic lattice", Phys. Rev. D **64**, 114503 (2001).

[35] J. Harada, S. Hashimoto, K. I. Ishikawa, A. S. Kronfeld, T. Onogi and N. Yamada, "Application of heavy-quark effective theory to lattice QCD. II: Radiative corrections to heavy-light currents", Phys. Rev. D **65**, 094513 (2002).

[36] J. Harada, S. Hashimoto, A. S. Kronfeld and T. Onogi, "Application of heavy-quark effective theory to lattice QCD. III: Radiative corrections to heavy-heavy currents", Phys. Rev. D **65**, 094514 (2002).

[37] S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [JLQCD Collaboration], "Polynomial hybrid Monte Carlo algorithm for lattice QCD with odd number of flavors", Phys. Rev. D **65**, 094507 (2002).

[38] J. Harada, S. Hashimoto, K. I. Ishikawa, A. S. Kronfeld, T. Onogi and N. Yamada, "Application of heavy-quark effective theory to lattice QCD. II: Radiative corrections to heavy-light currents", Phys. Rev. D **65**, 094513 (2002).

[39] J. Harada, S. Hashimoto, A. S. Kronfeld and T. Onogi, "Application of heavy-quark effective theory to lattice QCD. III: Radiative corrections to heavy-heavy currents", Phys. Rev. D **65**, 094514 (2002).

[40] S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [JLQCD Collaboration], "Polynomial hybrid Monte Carlo algorithm for lattice QCD with odd number of flavors", Phys. Rev. D **65**, 094507 (2002).

[41] N. Sasakura, "A de Sitter thick domain wall solution by elliptic functions", JHEP 0202:026, 2002.

[42] M. Fukuma, S. Matsuura and T. Sakai, "Higher derivative gravity and the AdS/CFT correspondence", Prog. Theor. Phys. **105** (2001) 1017–1044.

[43] R. Burkhalter, M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "CP^{N-1} models with a θ term and fixed point action", Prog. Theor. Phys., 106, 613-640, 2001.

[44] H. Hata and H. Kogetsu, "Higher level open string states from vacuum string field theory", JHEP **0209**, 027 (2002).

[45] H. Hata, S. Moriyama and S. Teraguchi, "Exact results on twist anomaly", JHEP **0202**, 036 (2002).

[46] H. Hata and S. Moriyama, "Observables as twist anomaly in vacuum string field theory", HEP **0201**, 042 (2002).

[47] J. Harada, H. Matsufuru, T. Onogi and A. Sugita, "Heavy quark action on the anisotropic lattice", Phys. Rev. D **66**, 014509 (2002).

[48] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [JLQCD Collaboration], "I = 2 pion scattering length with the Wilson fermion", Phys. Rev. D **66**, 077501 (2002).

[49] J. Harada, S. Hashimoto, A. S. Kronfeld and T. Onogi, "Perturbative calculation of O(a) improvement coefficients", Phys. Rev. D **67**, 014503 (2003).

[50] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T.

Yoshie, [JLQCD Collaboration], "B0 - anti-B0 mixing in quenched lattice QCD. ((U)) ((W))", Phys. Rev. D **67**, 014506 (2003).

[51] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [CP-PACS Collaboration], "I = 2 pion scattering phase shift with Wilson fermions", Phys. Rev. D **67**, 014502 (2003).

[52] S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [JLQCD Collaboration], "Light hadron spectroscopy with two flavors of O(a)-improved dynamical quarks", Phys. Rev. D **68**, 054502 (2003).

[53] N. Sasakura, "Analytic continuations of de Sitter thick domain wall solutions", Phys. Rev. D66 : 065006, 2002.

[54] N. Sasakura, "Dualities of the entropy bound", Phys. Lett. B550 : 197-200, 2002.

[55] M. Fukuma, S. Matsuura and T. Sakai, "Holographic renormalization group structure in higher derivative gravity", Prog. Theor. Phys. **107** (2002) 1085–1104.

[56] M. Fukuma and S. Matsuura, "Comment on field redefinitions in the AdS/CFT correspondence", Prog. Theor. Phys. **108** (2002) 375–382.

[57] K. Ito and H. Kunitomo, "Hybrid superstrings on singular Calabi-Yau fourfolds", Phys. Lett. B536 : 327-337, 2002 .

[58] H. Hata, H. Kogetsu and S. Teraguchi, "Gauge structure of vacuum string field theory", JHEP **0402**, 045 (2004).

[59] M. Fujita and H. Hata, "Time dependent solution in cubic string field theory", JHEP **0305**, 043 (2003).

[60] H. Hata and S. Moriyama, "Reexamining classical solution and tachyon mode in vacuum string field theory", Nucl. Phys. B **651**, 3 (2003).

[61] H. Fukaya and T. Onogi, "Lattice study of the massive Schwinger model with Theta term under Luescher's 'admissibility' condition", Phys. Rev. D **68**, 074503 (2003).

[62] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, [JLQCD Collaboration], "B0 anti-B0 mixing in unquenched lattice QCD", Phys. Rev. Lett. **91**, 212001 (2003).

[63] N. Tsutsui, S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie, [CP-PACS and JLQCD Collaboration], "Lattice QCD calculation of the proton decay matrix element in the continuum limit", Phys. Rev. D **70**, 111501 (2004).

[64] H. Fukaya and T. Onogi, "theta vacuum effects on the chiral condensation and the eta' meson correlators in the two-flavor massive QED(2) on the lattice", Phys. Rev. D **70**, 054508 (2004).

[65] M. Fukuma, S. Matsuura and T. Sakai, "Holographic renormalization group", Prog. Theor. Phys. **109** (2003) 489–562 `(invited paper)`.

[66] M. Fukuma, A. Miwa and K. Takahashi, "Holographic entropy bound in two-dimensional gravity", Prog. Theor. Phys. **110** (2003) 115–125.

[67] H. Kunitomo, "Hybrid superstrings in NS NS plane waves", Prog.Theor.Phys.110:137-157,2003 .

[68] M. Fujita and H. Hata, "Rolling tachyon solution in vacuum string field theory", Phys. Rev. D **70**, 086010 (2004).

[69] M. Fukunaga and T. Onogi, "A model independent determination of |V(ub)| using the global q**2 dependence of the dispersive bounds on the B → pi l nu form factors", Phys. Rev. D **71**, 034506 (2005).

[70] T. T. Takahashi, T. Umeda, T. Onogi and T. Kunihiro, "Search for the possible S = +1 pentaquark states in quenched lattice QCD", Phys. Rev. D **71**, 114509 (2005).

[71] N. Sasakura, "Nonunitary evolutions of noncommutative worlds with symmetry", JHEP 0401:016,2004.

[72] N. Sasakura, "Field theory on evolving fuzzy two sphere", Class.Quant.Grav.21:3593-3610,2004.

[73] N. Sasakura, "Evolving fuzzy CP**n and lattice n-simplex", Phys.Lett.B599:319-325,2004.

[74] N. Sasakura, "Heat kernel coefficients for compact fuzzy spaces", JHEP 0412:009,2004.

[75] M. Fukuma, Y. Kono and A. Miwa, "Effects of space-time noncommutativity on the angular power spectrum of the CMB", Nucl. Phys. B **682** (2004) 377–390.

[76] M. Fukuma, Y. Kono and A. Miwa, "A mechanism of the large scale damping in the CMB anisotropy", Nucl. Phys. B **703** (2004) 293–319.

[77] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "Maximum entropy method approach to the θ term", Prog.Theor.Phys.,111, 387-411,2004.

[78] H. Kunitomo, "Hybrid superstring on AdS(3) and space-time superconformal symmetry", Prog.Theor.Phys.112:699-736,2004.

[79] H. Hata and S. Moriyama, "Exact results on equations of motion in vacuum string field theory", Phys. Lett. B **631**, 141 (2005).

[80] H. Hata and S. Moriyama, "Boundary and midpoint behaviors of lump solutions in vacuum string field theory", Phys. Rev. D **72**, 046004 (2005).

[81] T. Onogi and T. Takimi, "Perturbative study of the supersymmetric lattice theory from matrix model", Phys. Rev. D **72**, 074504 (2005).

[82] H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Hirohashi, K. Ogawa and T. Onogi, "Topology conserving gauge action and the overlap-Dirac operator", Phys. Rev. D **73**, 014503 (2006).

[83] N. Sasakura, "Effective local geometric quantities in fuzzy spaces from heat kernel expansions", JHEP 0503:015, 2005.

[84] M. Fukuma, H. Irie and S. Seki, "Comments on the D-instanton calculus in $(p, p+1)$ minimal string theory", Nucl. Phys. B **728** (2005) 67–82.

[85] K. Fujiwara, H. Itoyama and M.Sakaguchi, "Partial breaking of $N = 2$ supersymmetry and of gauge symmetry in the U(N) gauge model", Nucl.Phys.B723(2005)33-52.

[86] H. Itoyama and R. Yoshioka, "Matrix orientifolding and models with four or eight supercharges", Phys.Rev.D72:126005,2005.

[87] K. Fujiwara, H. Itoyama and M. Sakaguchi, "Partial supersymmetry breaking and N=2 U(Nc) gauge model with hypermultiplets in harmonic superspace", Nucl.Phys.B740 (2006) 58-78.

[88] K. Harada, Y. Mitsunari, and N. Yamashita, "Effective theory approach to the Skyrme model and application to pentaquarks", Prog. Thoer. Phys. 113, No.6 1315 – 1366 (2005).

[89] K. Harada, K. Inoue, and H. Kubo, "Wilsonian RG and redundant operators in nonrelativistic effective field theory", Phys. Lett. B636, 305 – 309 (2006).

[90] H. Hata and A. Miwa, Loop equation in $D = 4$, $\mathcal{N} = 4$ SYM and string field equation on $AdS_5 \times S^5$", Phys. Rev. D **73**, 046001 (2006).

[91] H. Fukaya, T. Onogi, et al [JLQCD collaboration], "Lattice gauge action suppressing near-zero modes of $H(W)$", Phys. Rev. D **74**, 09405 (2006).

[92] S. Negishi, H. Matsufuru and T. Onogi, "Precision study of $B^*B\pi$ coupling for the static heavy-light meson", Prog. Theor. Phys. **117**, 275 (2007).

[93] N. Sasakura, "An Invariant approach to dynamical fuzzy spaces with a three-index variable", Mod.Phys.Lett.A21:1017-1028,2006.

[94] Y. Sasai and N. Sasakura, "One-loop unitarity of scalar field theories on Poincare invariant commutative nonassociative spacetimes", JHEP, 09,046,2006.

[95] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "The sign problem and MEM in lattice field theory with the θ term", Prog.Theor.Phys.,115, 931-949,2006.

[96] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "The θ-term, $CP(N-1)$ model and the inversion approach in the imaginary θ method", Prog.Theor.Phys.,116, 181-196,2006.

[97] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "Lattice field theory with the sign problem and the maximum entropy method", SIGMA,3, 018-025,2007.

[98] M. Fukuma, H. Irie and Y. Matsuo, "Notes on the algebraic curves in (p,q) minimal string theory", JHEP,09,075,2006.

[99] M. Fukuma and H. Irie, "A string field theoretical description of (p,q) minimal superstrings", JHEP,01,37,2007.

[100] M. Fukuma and H. Irie, "Supermatrix models and multi ZZ-brane partition functions in minimal superstring theories", JHEP,03,101,2007.

[101] H. Itoyama and K. Maruyoshi, "$U(N)$ gauged N=2 supergravity and partial breaking of local N=2 supersymmetry", Int.J.Mod.Phys.A21:6191-6210 (2006).

[102] H. Itoyama, H. Kihara and R. Yoshioka, "Partition functions of reduced matrix models with classical gauge groups", Nucl.Phys.B762:285-300 (2007).

[103] K. Fujiwara and H. Itoyama, "Partial supersymmetry breaking and N=2 U(N(c)) gauge model with hypermultiplets in harmonic superspace", Nucl.Phys.B740:58-78 (2006).

[104] K. Harada and H. Kubo, "Anomalous dimensions determine the power counting : Wilsonian RG analysis of nuclear EFT", Nucl. Phys., B758 [FS],304,2006.

[105] H. Kunitomo, "One-loop amplitudes in supersymmetric QCD from MHV vertices", Prog. Theor. Phys.,116,363,2006.

A3

国際会議招待講演

[1] Masao Ninomiya, “Compactified time and likely entropy - World inside time machine: Closed time-like curve”, 8th Workshop on What Comes Beyond the Standard Models, Bled, Slovenia, 2005 年 7 月 19-29 日.

[2] Hikaru Kawai, “Curved spaces and diffeomorphism inv. in IIB matrix model”, Fundamental Problems and Applications of Quantum Field Theory, 2005 年 12 月 21 日.

[3] Hikaru Kawai, “Diffeomorphism and Local Lorentz invariance in matrix model”, CONFERENCE on THEORETICAL PHYSICS TD70, 2005 年 4 月 13 日.

[4] Hikaru Kawai, “Loop equations in string theory”, Komaba 2003, 2003 年 11 月 27 日.

[5] Hikaru Kawai, “Generation of Space-time in IIB Matrix Model”, Nishinomiya Yukawa Symposium 2002, 2002 年 11 月 13 日.

[6] Hikaru Kawai, “Spontaneous Breaking of Rotational Symmetry in IIB Matrix Model”, strings 2002, 2002 年 7 月 15 日.

[7] Hikaru Kawai, “Constructing new types of matrix models for critical string”, the 6th Claude ITZYKSON Meeting, 2001 年 6 月 19 日.

[8] T. Onogi, “Lattice determination of semileptonic form factors”, Workshopo on the CKM Unitarity Triangle at Durham, 2003 年 4 月 5-9 日.

[9] T. Onogi, “Model independent approach with dispersive bound”, Workshop on the determination of CKM matrix elements Vub/Vcb at Belle, 2004 年 10 月 12-13 日.

[10] T. Onogi, “Heavy quark action on anisotropic lattices”, German-Japanese Symposium: Towards Precision Physics from Lattice QCD Simulated on Tera-Flops Computers at DESY Zeuthen, 2004 年 9 月 25-29 日.

[11] T. Onogi, “Lattice calculations for B physics”, Workshop on Flavour Dynamics at France, 2005 年 10 月 8-15 日.

[12] T. Onogi, “Topology conserving gauge actions: towards dynamical simulations of Ginsparg-Wilson fermions”, Workshop on Lattice QCD simulations with light quarks at Ringberg Castle, Tegernsee, 2006 年 4 月 23-28 日.

[13] T. Onogi, “Low eigenmodes of Hw with topology conserving actions - towards dynamical simulation of Ginsparg-Wilson fermion - ”, Ringberg Workshop, University of Munchen, Ringberg, Germany, 2006 年 4 月 27 日.

[14] T. Onogi, “Future Prospects in Lattice QCD”, CKM workshop, Nagoya, 2006 年 12 月 16 日.

[15] T. Onogi, “Should we change topology at all?”, RBRC Workshop: Domain Wall Fermions at Ten Years, Brookhaven National Laboratory, 2007 年 3 月 16 日.

[16] T. Onogi, “Lattice QCD with dynamical overlap fermion - understanding chiral dynamics with exact chiral symmetry-”, Komaba 2007 “Recent Developments in Strings and Fields” Komaba,U. Tokyo, 2007 年 2 月 10 日.

[17] N. Sasakura, “An Invariant approach to dynamical fuzzy spaces with a three-index variable: Euclidean models”, 4th International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (QTS-4) and 6th International Workshop on Lie Theory and Its Applications in Physics (LT-6), Varna, Bulgaria, 2005 年 4 月 15-21 日.

[18] M. Fukuma, “Holographic RG Structure in Higher-Derivative Gravity”, 6th Claude Itzykson Meeting “Matrix Models 2001”, CEA/Saclay, France, 2001 年 6 月 18-21 日.

[19] M. Fukuma, “Effects of spacetime noncommutativity on the angular power spectrum of the CMB”, 3rd International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (QTS3), Cincinnati, Ohio, 2003 年 9 月 10-14 日.

[20] M. Fukuma, “Effects of spacetime noncommutativity on the angular power spectrum of the CMB”, Komaba 2003 - String Theory and Bunji Sakita, 東京大学数理科学研究科大講義室, 2003 年 11 月 27-28 日.

[21] H. Itoyama, “Partial Breaking of N=2 Supersymmetry and of Gauge Symmetry in the U(N) Gauge Model”, SUSY2005, The Millennium Window to Particle Physics (於ダラム大学、イギリス), 2005 年 7 月.

[22] H. Itoyama, “Spontaneous Partial Breaking of Rigid and Local N=2 Supersymmetry and the U(N) Gauge Model”, 14th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions (SUSY2006), Irvine, California, USA, 12-17 June 2006.

[23] H. Itoyama, “$AdS(5) \times S^5$ Superstrings in the Generalized Light-cone Gauge”, International Workshop on Non-commutativity in Strings, Gravity and Field Theory, Tokyo Metropolitan University, 16-18 November 2006.

[24] H. Yoneyama, “Lattice Field Theory with a θ Term and Maximum Entropy Method”, Seminars in celebration of Prof. A. Wipf’s 50th Birthday, Jena University, Jena, Germany, 2004 年 12 月 14 日.

[25] K. Harada, “Skyrme Model Revisited: An Effective Theory Approach and Application to the Pentaquarks”, International Workshop PENTAQUARK04 SPring-8 (大型放射光施設), 2004 年 7 月 20-23 日.

国内会議招待講演

[1] 川合光, 「Diffeomorphism and local susy invariance in IIB matrix model」, KEK 研究会 2006, 2006 年 3 月 2 日.

[2] 川合光, 「Curved spaces and diffeomorphism inv. in IIB matrix model」, 場の理論・弦理論の進展, 2006 年 2 月 6 日.

[3] 川合光, 「Differential operators in matrix model」, KEK 研究会 2005, 2005 年 3 月 3 日.

[4] 川合光, 「行列模型, ループ方程式, 弦の場」, 阪大素粒子理論研究会, 2004 年 9 月 17 日.

[5] 川合光, 「Loop equation による弦理論の非摂動的定式化の可能性について」, KEK 研究会 2004, 2004 年 3 月 1 日.

[6] 川合光, 「Dijkgraaf-Vafa theory and large-N reduction」, KEK 研究会 2003, 2003 年 3 月 18 日.

[7] 川合光, 「弦理論の現状と展望」, 基礎物理学研究所研究会, 2003 年 1 月 8 日.

[8] 川合光, 「Matrix model のこれから」, KEK 研究会 2002, 2002 年 3 月 18 日.

[9] 大野木哲也, 「New Challenges in Lattice QCD」, 基研研究会「素粒子物理の進展 2006」, 2006 年 8 月 2 日.

[10] 福間 将文, 「Holographic Renormalization Group」, 2001 年度京都大学数理解析研究所共同研究会 “繰り込み群の数理科学での応用”, 2001 年 7 月 25 日–27 日.

[11] 福間 将文,「ホログラフィー的くりこみ群 (特別講演)」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月 22 日–25 日.

A3

[12] 福間 将文, 「ランダム面上のくりこみ群と弦理論—弦理論における時空の最新の描像—」, 第 47 回物性若手夏の学校, 2002 年 7 月 31 日–8 月 3 日.

[13] 福間 将文, 「弦理論的宇宙論」, New direction of particle physics (TEA03), 2003 年 10 月 15 日–16 日.

[14] 福間 将文, 「非可換幾何学とインフレーション」, 理研理論集中セミナー “String/D-brane Cosmology”, 2004 年 1 月 24 日.

[15] 福間 将文, 「弦理論におけるくりこみ群的手法」, 中部夏の学校, 2006 年 8 月 24 日-27 日.

[16] 福間 将文, 「Minimal superstring field theory」, 立教大学弦理論研究会 (2006), 2006 年 12 月 27 日.

[17] 國友　浩, 「Lower-dimensional superstrings in the double-spinor formalism」, 立教大学弦理論研究会 (2006), 2006 年 12 月 27 日.

[18] 米山　博志, 「Lattice Field Theory with a θ Term and Maximum Entropy Method」, 京都大学基礎物理学研究所研究会「格子ゲージ理論の新しい芽と発展」, 2004 年 12 月 10 日.

学会発表

[1] T. Onogi, 「Heavy-light weak matrix elements using all-to-all propagators」, Joint meeting of pacific region physics community meetings, Hawaii, 2006 年 10 月 31 日.

[2] 大野木哲也, 「動的 overlap フェルミオンを用いた格子 QCD による位相感受率の研究」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

[3] 福間将文, 「Holographic Renormalization Group」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月 23 日.

[4] 福間将文, 松浦壮, 酒井忠勝, 「The Holographic RG Interpretation of Higher Derivative Gravity」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月 23 日.

[5] 福間将文, 松浦壮, 「Holographic Renormalization Group Structure in Higher-Derivative Gravity」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[6] 福間将文, 高橋一芳, 三輪光嗣, 「Entropy Pseudocurrent and the Holography」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[7] 福間将文, 高橋一芳, 三輪光嗣, 「2 次元量子重力におけるホログラフィー」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[8] 福間将文, 河野祐二, 三輪光嗣, 「Stringy Effects on the Cosmic Microwave Background 1」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 2003 年 9 月 10 日.

[9] 福間将文, 河野祐二, 三輪光嗣, 「Stringy Effects on the Cosmic Microwave Background 2」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 2003 年 9 月 10 日.

[10] 福間将文, 河野祐二, 三輪光嗣, 「Holography and the CMB anisotropy 1」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[11] 福間将文, 河野祐二, 三輪光嗣, 「Holography and the CMB anisotropy 2」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[12] 福間将文，入江広隆,「非臨界超弦理論と行列模型」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[13] 福間将文，入江広隆，関穣慶,「連続なループ方程式によるミニマル弦理論の解析」, 日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月 12 日.

[14] 福間将文，入江広隆，松尾善典,「Minimal strings and quantum algebraic curves I」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[15] 福間将文，入江広隆，松尾善典,「Minimal strings and quantum algebraic curves II」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[16] 福間将文，入江広隆，白坂彰英，徳永達哉,「ブラックホールエントロピーの高次補正について」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 29 日.

[17] 福間将文，入江広隆,「A string field theoretical description of noncritical superstrings」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[18] 糸山浩司，木原　裕充，吉岡　礼治,「Partition Functions of Reduced Matrix Models with Classical Gauge Groups」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 25 日.

[19] 糸山浩司，丸吉　一暢，米村　啓,「N=2 超対称性の部分的自発的破れのダイナミクス」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 25 日.

[20] 糸山浩司，大田　武志，吉岡　礼治,「一般化された光円錐ゲージに於ける AdS5 × S5 弦とその性質」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[21] 片山賢一, 福間将文, 須山孝夫,「(3+1) 次元 Yang-Mills 理論の解析的計算に向けて」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[22] 井町昌弘、牟田尚洋、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む場の理論とインスタントン力学」, 日本物理学会九州支部例会, 2001 年 12 月 8 日.

[23] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む格子場の理論」, 京都大学基礎物理学研究所研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」, 2001 年 12 月 19 日.

[24] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む格子場の理論」, 研究会「閉じこめ、テータ項、対称性の破れ」、山形大学, 2002 年 2 月 17- 19 日.

[25] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む格子場の理論」, 日本物理学会第 5 7 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[26] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「Maximum Entropy Method Approach to Lattice Field Theory with Theta Term」, 京都大学基礎物理学研究所研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」, 2002 年 12 月.

[27] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む格子場の理論への最大エントロピー法によるアプローチ」, 日本物理学会第 5 8 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[28] 井町昌弘、新野康彦、米山博志, “Application of Maximum Entropy Method to Lattice Field Theory with a Topological Term”, The XXI International Symposium on Lattice Field Theory、筑波, 2003 年 7 月 16 日.

[29] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む格子場の理論への最大エントロピー法によるアプローチ II」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 2003 年 9 月 10 日.

[30] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「自由エネルギー密度におけるフラットニングと最大エントロピー法」, 京都大学基 礎物理学研究所研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」, 2003 年 12 月 24 日.

[31] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「θ 項を含む場の理論における MEM を用いた分配関数の計算」, 日本物理学会第５９回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[32] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "MEM Study of True Flattening of Free Energy and the θ Term", The XXIIInternational Symposium on Lattice Field Theory, FNAL, Batavia, USA, 2004 年 6 月 23 日.

A3

[33] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "CP(N-1) Model with the Theta Term and Maximum Entropy Method", The XXII International Symposium on Lattice Field Theory, FNAL, Batavia, USA, 2004 年 6 月 25 日.

[34] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「MEM による θ 項を含む CP(N-1) 模型の分配関数の計算」, 日本物理学会 200 4 年秋季大会, 2004 年 9 月 20 日.

[35] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「自由エネルギー密度におけるフラットニングと最大エントロピー法」, 京都大学基礎物理学研究所研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」, 2004 年 12 月 16 日.

[36] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "Sign problem and MEM", Workshop "Extreme QCD", University of Wales Swansea, UK, 2005 年 8 月 2 日.

[37] 井町昌弘、新野康彦、米山博志,「負符号問題と最大エントロピー法」, 日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月 13 日.

[38] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "Prior probability and the most probable image in MEM", YITP Workshop "Fundamental Problems and Applications of Quantum Field Theory", 京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 12 月 20 日.

[39] M. Imachi, Y. Shinno, H. Yoneyama, "Lattice field theory with the sign problem and the maximum entropy method", O'Raifeartaigh Symposium on Non-Perturbative and Symmetry Methods in Field Theory KFKI RMKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest, Hungary, , 2006 年 6 月 22 日.

[40] 原田恒司,「$1/N_c$ から見た Θ^+ 共鳴」, 日本物理学会 第 59 回年次大会 九州大学, 2004 年 3 月 27-30 日.

[41] 久保博史、原田恒司,「Nuclear effective theory への非摂動論的繰り込み群の応用」, 日本物理学会 第 60 回年次大会 東京理科大学野田キャンパス, 2005 年 3 月 24-27 日.

[42] 原田恒司、井上研三、久保博史,「pionless Nuclear Effective Field Theory におけるウィルソン流繰り込み群と redundant operator の取り扱いについて」, 日本物理学会 第 61 回年次大会 愛媛大学, 2006 年 3 月 27-30 日.

[43] 原田恒司、久保博文、二宮温,「Higher Partial Waves in Pionless Nuclear Effective Field Theory: A Wilsonian RG Approach」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[44] 國友浩,「One-loop amplitudes in supersymmetric QCD from MHV vertices」, 日本物理学会第 61 回年次大会　愛媛大学, 2006 年 3 月 27-30 日.

ホームページの公開

[1] http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~ninomiya/tokutei

[2] http://www-gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp/~fukuma/

[3] http://wwwphys.sci.osaka-cu.ac.jp/mathsci/main.html

[4] http://higgs.phys.kyushu-u.ac.jp/~koji/index.html

計画班: A4

研究課題名: 超弦理論の代数的及び幾何的構造の解析

研究代表者: 上原 正三 宇都宮大学・教授
青山 昭五 静岡大学・教授
河合 俊哉 京都大学数理解析研究所・助教授
粟田 英資 名古屋大学大学院・助教授

重要な成果

5 次元超対称ヤンミルズ理論の解析をおこない、自己双対とは限らない一般の定重力場と結合した場合の分配関数、いわゆるネクラソフの公式が、一般の ゴパクマ–ヴァファ不変量の母関数でもあることを見いだした。更に、この一般のネクラソフの公式の位相的頂点作用素による構成を、三角型ライセナース模型の励起状態であるマクドナルド関数を用いて与えた。

A4

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

Fedosov の方法を用いて Kähler 商空間の量子変形を行い , Kähler 商空間のファジイ構造を示すことに成功した。また、楕円的に拡張した E_8 ワイル群 (楕円アルチン群) の q-変形 (楕円ヘッケ環) を解析し、表現の既約性の q 依存性を見いだした。

平成 14 年度:

超面が一次元コンパクト化した空間へ巻き付いたモードが量子論的にも超弦と見做せるかを調べ摂動 1 次まではよいが 2 次では発散項がキャンセルしないことを具体的に示した。切断を有し Hirzebruch 曲面を底空間とする 3 次元楕円 Calabi-Yau 多様体にコンパクト化した F 理論と、$E_8 \times E_8$ 混成弦を K3 曲面にコンパクト化した理論との双対予想に対して、不変式論の立場から新たな知見を得た。

平成 15 年度:

不安定 D-brane が、1 次元低い安定な D-brane とともに tachyon matter に崩壊していくという、空間的に一様ではない漸近的解を見つけた。QCD の Dijkgraaf-Vafa 理論の Whitham 変形の研究において、Whitham 変形された場合における QCD の自由エネルギーの計算方法を定式化した。

平成 16 年度:

M理論の S^1 コンパクト化であらわれる affine Lie 代数の行列表現を与えることに成功し、さらに、T^2 へのコンパクト化でも、連続パラメーターを 2 種類導入することで行列表現を与えることに成功した。超楕円曲線の量子変形を記述する Whitham 方程式の導出し、2 次元の位相場理論と同じ可積分構造があることを発見した。また、この理論にフェルミオンが結合した場合を研究し、その有効スーパーポテンシャルをグルイーノ凝縮の秩序パラメーター展開の 3 次の冪まで計算した。

平成 17 年度:

Ω 背景上でのネクラソフの分配関数とDブレインのモジュライ空間の関係を、幾何的手法およびゴパクマ–ヴァファ不変量のアイデアを用いて考察し、N=2 超対称ヤンミルズ理論に対するネクラソフの公式は $\mathrm{SU}(2)_L \times \mathrm{SU}(2)_R$ のスピン表現のキャラクターに分解できることを示した。

平成 18 年度:

超膜理論を 2 次元トーラスへコンパクト化することによって、その作用から具体的に (p,q)-string の作用を導くことに成功した。Kähler 多様体 G/H 上の非線形シグマ模型を線形化して、共変不変な形式に定式化した。ゴーストを導入することによって G 対称な Kac-Moody 代数のカレントとプライマリーを構築する方法を確立した。これは、Kähler 多様体 G/H の幾何構造を利用した Kac-Moody 代数の自由場表現の新しい方法である。

査読付国際誌への掲載

[1] Naofumi Kitsunezaki and Shozo Uehara, "Large-N behavior of the IIB matrix model and the regularized Schild models", Journal of High Energy Physics 10・033 (2001) 1–8.

[2] Masaaki Taniguchi, Shozo Uehara, Satoshi Yamada and Koichi Yamawaki, "Does DLCQ S-matrix have a covariant continuum limit?", Mod. Phys. Lett. A 16•33 (2001) 2177–2185.

[3] Shogo Aoyama and Takahiro Masuda, "The Fuzzy Kaehler Coset Space by the Fedosov Formalism", Phys. Lett. B514 (2001) 385–393.

[4] Shogo Aoyama and Takahiro Masuda, "The Fuzzy Kaehler Coset Space with the Darboux Coordinates", Phys. Lett. B521 (2001) 376–382.

[5] Hidetoshi Awata, Miao Li, Djordje Minic, Tamiaki Yoneya, "On the Quantization of Nambu Brackets", Journal of High Energy Physics 02・013 (2001) 1–17.

[6] Akira Ishida and Shozo Uehara, "Gauge Fields on Tachyon Matters", Phys. Lett. B 544・3-4 (2002) 353–356.

[7] Shozo Uehara and Satoshi Yamada, "On the strong coupling region in quantum matrix string theory", Journal of High Energy Physics 09・019 (2002) 1–25.

[8] Naofumi Kitsunezaki and Shozo Uehara, "Representation of $SU(\infty)$ Algebra for Matrix Models", Journal of High Energy Physics 10・024 (2002) 1–10.

[9] Shozo Uehara and Satoshi Yamada, "Comments on the global constraints in light-cone string and membrane theories", Journal of High Energy Physics 12・041 (2002) 1–13.

[10] Akira Ishida and Shozo Uehara, "Rolling down to D-brane and tachyon matter", Journal of High Energy Physics 02・050 (2003) 1–8.

[11] Shogo Aoyama and Takahiro Masuda, "The Fuzzy Algebrae of the General Kaehler Coset Space $G/H \otimes U(1)^k$", Mod. Phys. Lett. A18 (2003) 553–560.

[12] Shogo Aoyama and Takahiro Masuda, "The Fuzzy S^4 by Quantum Deformation", Nucl. Phys. B656 (2003) 325–343.

[13] Shogo Aoyama and Takahiro Masuda, "The Whitham deformation of the Dijkgraaf-Vafa theory", Journal of High Energy Physics 03・072 (2004) 1–32.

[14] Hidetoshi Awata, Harunobu Kubo, Satoru Odake, Jun'ichi Shiraishi, "Virasoro-type Symmetries in Solvable Models", Proceedings of the Canada-China meeting on theoretical physics, (L. Lapointe, G. Mo-Lin, Y. Saint-Aubin, L. Vinet eds.), Les Publications CRM, 2003, pp. 154–188..

[15] Shozo Uehara and Satoshi Yamada, "From supermembrane to super Yang-Mills theory", Nuclear Physics B696 (2004) 36–54.

[16] Shozo Uehara and Satoshi Yamada, "Wrapped membranes, matrix string theory and an infinite dimensional Lie algebra", Journal of High Energy Physics 07・043 (2004) 1–19.

[17] Toshiya Kawai, "String and Vortex", Publ. Res. Inst. Math. Sci. Kyoto 40 (2004) 1063–1091.

[18] Shogo Aoyama, "The Disc Amplitude of the Dijkgraaf-Vafa Theory: 1/N Expansion vs Complex Curve", Journal of High Energy Physics 10·032 (2005) 1–17.

[19] Shogo Aoyama, "More on the Triplet Killing Potentials of Quaternionic Kaehler Manifolds", Physics Letters B 625 (2005) 127–134.

[20] Hidetoshi Awata and Hiroaki Kanno, "Instanton counting, Macdonald function and the moduli space of D-branes", Journal of High Energy Physics 05·039 (2005) 1–26.

[21] Akira Ishida, Shozo Uehara and Tomoki Yada, "Tachyon condensation in unbalanced D$\overline{\text{D}}$ system", Progress of Theoretical Physics 115 (2006) 1093–1109.

A4

[22] Hiroyuki Okagawa, Shozo Uehara and Satoshi Yamada, "(p,q)-string in the wrapped supermembrane on 2-torus", Physics Letters B 639·2 (2006) 101–109.

[23] Shogo Aoyama, "The Berkovits Method for Conformally Invariant Non-linear Sigma-models on G/H", Physics Letters B 639·3-4 (2006) 397–402.

国際会議招待講演

[1] Hidetoshi Awata, "Deformed Virasoro algebras and related topics", EuroConference: Applications of the Macdonald Polynomials, 2001 年 4 月 16–21 日.

[2] Hidetoshi Awata, "$N = 1$ six-dimensional $E8$ theory and representation of elliptic Lie algebras", APCTP-Nankai Joint Symposium on Lattice Statistics and Mathematical Physics, 2001 年 10 月 7–13 日.

[3] Shozo Uehara, "On the quantum matrix string", the 3rd International Sakharov Conference on Physics, 2002 年 6 月 24–29 日.

国内会議招待講演

[1] 粟田英資,「多体問題の厳密解について」, たんぱく質ダイナミクス研究会, 岡崎生理学研究所, 2003 年 3 月 11 日.

[2] 河合俊哉,「Gromov-Witten theory and brane counting」, Enumerative Geometry on Moduli Spaces, 2004 年 1 月 29 日.

[3] 粟田英資,「頂点作用素の物理」, Summer School 数理物理 2004, 東京大学大学院数理科学研究科, 2004 年 8 月 22–24 日.

[4] 粟田英資,「W 代数の表現論入門」, 立教大研究会, 立教大, 2004 年 9 月 15 日.

[5] 粟田英資,「ヤンミルズインスタントンと量子多体系」, 東京無限可積分セミナー 玉原合宿, 東京大学玉原国際セミナーハウス, 2005 年 9 月 28 日.

[6] 青山昭五,「The Berkovits Method for Conformally Invariant Non-linear Sigma-models on G/H」,「場の理論・弦理論の進展」, 2006 年 2 月 6-7 日.

学会発表

[1] 狐崎直文,上原正三,「IIB 行列模型と Schild 模型との比較」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 22 日.

[2] 谷口正明, 上原正三, 山脇幸一, 山田敏,「Does DLCQ S-Matrix have a covariatnt continuum limit?」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 24 日.

[3] 狐崎直文,上原正三,「場の理論における large N 行列模型の記述」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 25 日.

[4] 上原正三, 山田敏, 「On the infrared limit in quatum Matrix string theory」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 13 日.

[5] 石田明, 上原正三, 「Gauge Fields on Tachyon Matter」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 14 日.

[6] 谷口正明, 上原正三, 山脇幸一, 山田敏, 「pontaneous symmetry breaking and Coleman's theorem in DLCQ」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[7] 岡川, 上原正三, 山田敏, 「トーラス上に巻きついたスーパーメンブレン」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

計画班: A5

研究課題名: 弦理論におけるブラックホールと非摂動的定式化の研究

研究代表者: 藤崎 晴男　立教大学・名誉教授 (平成 17 年度までは教授)
田中 秀和　立教大学・教授
矢彦沢 茂明　立教大学・准教授

重要な成果

ブラックホール (BH) については、4 次元時空でのディラトン結合型で回転を伴う荷電 BH の熱力学を考察し、最も実現性の高い多体 BH 分布は全系の質量・電荷・角運動量が 1 コの BH に集中した非熱平衡状態であることを示した。また、弦理論の第一量子化においては厳密な非摂動的結果を導いた。主な厳密結果は、反対称テンソル場のフラックスと pp-波を背景場としたボソン閉弦において弦座標の「自由モード表現」を構成し、BRST 演算子形式で共変的正準量子化を厳密に行い、BRST 演算子のべき零性から時空次元数と正規順序定数を決定したことである。

A5

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
藤崎は Kerr-Newman 型ブラックホール多体系は熱平衡分布を実現し、ミクロ・カノニカル臨界温度は存在しないことを示した。田中はグルーオンが崩壊する分岐過程に対する高次効果の計算を行った。矢彦沢は弦理論における時空特異点解消のエンハンソン機構について考察し、K3 多様体に巻き付いた D6 ブレインから構成される球殻の安定性について調べた。

平成 14 年度:
藤崎は最も実現性の高いブラックホール分布はモデルの詳細によらず全系の質量・荷電・角運動量が 1 個のブラックホールに集中した非熱平衡状態であることを示した。田中は始状態ハドロン中のパートンカスケード現象に寄与する全ての 3 体分岐関数の計算を行った。矢彦沢は時間に依存するオービフォルド上の弦理論について考察を行った。

平成 15 年度:
藤崎は 4 次元時空でのディラトン結合型ブラックホール多体系の熱力学を双対性の観点から検討した。田中は多パートン生成の素過程の高次項がパートン分岐の運動学的な制限に影響を与えることを示した。矢彦沢は非線形シグマ模型におけるインスタントン解のモジュライ空間上の情報計量はユークリッド的な反ド・ジッター時空であることを示した。

平成 16 年度:
藤崎は 4 次元時空での回転を伴うディラトン結合型荷電ブラックホール多体系の熱力学を、Kaluza-Klein 模型のブースト Kerr 解に基づき考察した。田中はハード過程で生じる質量異常項の因子化処方依存性を多パートン生成のアルゴリズムに取り組むことを検討した。矢彦沢は BMN 模型における弦理論とゲージ理論の関係を明確にすることを試みた。

平成 17 年度:
藤崎は 4 次元時空ブラックホール多体系ミクロカノニカル・アンサンブル法の 6 次元トーラスにコンパクト化した Sen ヘテロティック弦理論型ブラックホール解への適用可能性を示した。田中はハード過程から差し引く項について赤外発散項の処理を定義し、具体的な数値計算を行った。矢彦沢は pp-波上での弦理論の共変的な共系ゲージでの量子化を推進した。

平成 18 年度:
藤崎は通常の 4 次元時空での Einstein-Maxwell 方程式の Bonner 双極子解を宇宙弦の導入により正則化し、ブラックホール多体系の熱力学を考察した。田中は物理過程における多パートン生成の寄与を考察している。矢彦沢は反対称テンソル場のフラックスと pp-波を背景場として、ボソン閉弦を BRST 演算子形式で共変的に正準量子化をした。この正準量子化において新しく構成したのは、共変的な弦座標の「自由モード表現」である。pp-波背景時空中の弦理論のエネルギー・運動量テンソルにこれらの共変的な弦座標の自由モード表現を適用した。そして、Virasoro 演算子の代数のアノマリーを求め、BRST 演算子のべき零性から、pp-波背景上の弦理論における時空の次元の数と正規順序の定数を決定した。

査読付国際誌への掲載

[1] H. Fujisaki, “Thermaldynamics aspect of charged rotating black holes in anti-de Sitter Space”, IL NUOVO CIMENTO, 116B, No.5, 521-527, 2001.

[2] H. Fujisaki, “Microcanonical algorithm of charged dilatonic black holes”, IL NUOVO CIMENTO, 116B, No.5, 601-608, 2001.

[3] H. Fujisaki, “Microcanonical algorithm of charged rotating black holes amenable To heterotic string theory”, IL NUOVO CIMENTO, 116B, No.9, 1083-1089, 2001.

[4] H. Tanaka and T. Sugiura, T. Munehisa and K. Kato, “Three-Gluon Decay Function Using Space-Like Jet Calculus beyond the Leading Order”, Progress of Theoretical Physics, 105, No.5, 827-843, 2001.

[5] K. Maeda, T. Torii, M. Narita and S. Yahikozawa, “The exitation of a charged string passing through a shock wave in a charged Aichelburg-Sexl spacetime”, Nuclear Physics B, 598, 115-133, 2001.

[6] K. Maeda, T. Torii, M. Narita and S. Yahikozawa, “Stability of the shell of D6-D2 branes in an N=2 supergravity solution”, Physical Review D, 65, 024030-1 ~ 024030-14, 2002.

[7] H. Fujisaki, “Microcanonical Algotithm of Kerr-Newman Dilatonic Black Holes”, IL NUOVO CIMENTO, 117B, No.4, 425-432, 2002.

[8] H. Fujisaki and and Y. Sekiwa, “Microcanonical algorithm of charged rotating dilatonic black holes from The viewpoint of the Kalza-Klein theory”, IL NUOVO CIMENTO, 118B, No.4, 353 361, 2003.

[9] J. Fujimoto, H. Tanaka and , et. al., “GRACE/SUSY Automatic Generation of Tree Amplitude in MSSM”, Comput. Phys. Commun., 153, 106, 2003.

[10] Y. Kurihara, H. Tanaka and et. al., “QCD event generators with next-to-leading order matrix-elements and Parton showers”, Nuclear Physics B, 654, 301, 2003.

[11] H. Tanaka , T. Sugiura, T. Munehisa and K. Kato,, “Space-Like Jet Calculus for Single Gluon Radiating Processes”, Progress of Theoretical Physics, 109, No.6, 981-993, 2003.

[12] H. Tanaka, “Initial State Parton Evolution beyond the Leading Logarithmic Order of QCD”, Progress of Theoretical Physics, 110, 963-973, 2003 .

[13] S. Yahikozawa, “Information metric on instanton moduli spaces in nonlinear sigma models”, Physical Review E, 69, 026122-1 ~ 026122-4, 2004.

[14] H. Fujisaki, “Comments on Microcanonical Algorithm of Charged Rotating Dilatonic Black Holes”, IL NUOVO CIMENTO, 120B, No.4, 1001-1006, 2005.

[15] H. Tanaka, T. Sugiura and Y. Wakabayashi , “Factorization Algorithm for Parton Showers beyond the Leading Logarithmic Order of QCD”, Progress of Theoretical Physics, 114, 477-486, 2005.

[16] H. Fujisaki, “Comments on Thermal Aspects of Black Diholes”, IL NUOVO CIMENTO, 121B, No.2, 217-220, 2006.

[17] Y. Chizaki and S. Yahikozawa, “Covariant BRST Quantization of Closed Strings in the pp-Wave Background”, Progress of Theoretical Physics, 116, No.5, 937-964, 2006.

[18] H. Fujisaki, K. Nakagawa and S. Sano, “A Predude to Thermal Cosmological Constant in String Thermofield Dynamics”, Hoshi J. Gen. Educ., No.24, 29-44, 2006.

[19] H. Fujisaki, “Thermodynamics of the Brans-Dicke Analog of the Kerr-Newman Black Hole”, IL NUOVO CIMENTO, 122B, now in the press..

学会発表

[1] 杉浦哲哉, 田中秀和, 宗久知男, 加藤潔, 「Space-Like Jet Calculus による 3 体グルーオン分岐関数の計算」, 日本物理学会第 56 回年次大会, 2001 年 3 月 27 日、中央大学多摩キャンパス.

[2] 杉浦哲哉, 田中秀和, 宗久知男, 加藤潔, 「Space-Like Jet Calculus による 3 体分岐関数の計算」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 25 日、沖縄国際大学.

A5

[3] 田中秀和, 「NLL 項を考慮した始状態パートンに対する QCD カスケード」, 日本物理学会 2003 年秋期大会宮城ワールドコンベンションセンター・サミット, 2003 年 9 月 9 日.

[4] 田中秀和, 杉浦哲也, 若林裕也, 「NLL パートンシャワー模型における因子化法」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 12 日、大阪市立大学.

[5] 知崎陽一, 矢彦沢茂明, 「pp-wave 上の弦理論の BRST 量子化」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 12 日、大阪市立大学.

[6] Y. Chizaki and S. Yahikozawa, “BRST Quantization of String Theory in pp-Wave Background with Flux”, Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities（日本物理学会と米国物理学会の共催）, 2006 年 11 月 1 日, Sheraton Waikiki Hotel, Hawaii.

の催し物・研究会・弦理論研究会のページ ホームページの公開

[1] http://www.rikkyo.ne.jp/grp/itp/　の催し物・研究会・弦理論研究会のページ

計画班: A6

研究課題名: 超弦理論に現れる様々なブレーン及び真空の行列を用いた記述とその有効性の研究

研究代表者:
郷六 一生　福岡工業大学・教授
多田 司　独立行政法人理化学研究所・副主任研究員
早川 雅司　名古屋大学・理学研究科・准教授
菅本 晶夫　お茶の水女子大学・教授
瀬尾 幸市　岐阜市立女子短期大学・教授

重要な成果

超弦理論の構成的定式化の模型である IIB 行列模型から、その時空を定めるメカニズムを解明する際には Heisenberg 代数で表現される非可換幾何学からのアプローチが非常に有用になること、また行列による表現は非可換幾何学と密接な関係にあることを示した。そして、非可換幾何学と行列の対応を用いて、高次元空間に埋め込まれた空間の曲がりを表現する方法について調べるとともに、その際に現れるゲージ/弦理論対応の有用性に基づき量子色力学の非摂動的な側面、及び曲がった時空間における量子論を格子正則化等も用いて追求した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

超弦理論の構成的定式化の模型である IIB 行列模型について、その時空をあらわすメカニズムを解明するべく、モデルを平均場近似およびそれを発展させた近似手法を用いての解析を試みた。また様々なブレイン解の振る舞いとそれによる宇宙論的モデルの解析を通して行列模型の正しい物理的な解釈へと繋げることを試みた。

平成 14 年度:

行列による表現は Heisenberg 代数で表される非可換幾何学と密接な関係にある。このため行列を用いて時空を表現する際には非可換幾何学からのアプローチが非常に有用になる。これにより、これまでとは次元の異なるソリトン的なブレーン解を構成することができた。また同様の解を時間に依存するようにもできる。この点は宇宙論の観点から見たときに大変興味深く、その宇宙論に与える影響を調べて宇宙初期、また現在の宇宙の状況に関する重要な情報を得ることができた。

平成 15 年度:

超弦理論の構成的定式化の模型である IIB 行列模型について、その時空をあらわすメカニズムを解明するべく、非可喚超空間を表現していると思われるフェルミオニックな解を超行列模型で見つけた。そして、その解が非可喚超空間での交換関係を満足するがゆえに、それは非可喚超空間での行列模型とみなしてよいことを示した。

平成 16 年度:

弦の理論の非摂動効果の源を理解しようとするテーマのもとで、総括班特に川合と多田、早川らの緊密な連携の元に行われた研究として、弦の理論のダイナミクスの解明へ向けての中心的な研究を行った。

平成 17 年度:

本課題の研究テーマに広く応用が期待できる基礎的研究として、行列を用いて曲がった空間を記述する手法の確立を試みた。非可換幾何学と行列の対応関係を用いて、高次元空間に埋め込んで空間の曲がりを表現する方法について調べるとともに、最近川合らによって導かれた行列を微分作用素として捉え、空間の曲がりを行列に含める方法についても検討した。

平成 18 年度:

D-brane もしくは NS-brane、Orientifold など、多様な古典解近傍のダイナミクスを調べるのにどのような行列による記述が適しているか探究するため、量子色力学の非摂動的な側面をゲージ/弦理論対応から理解する試みや曲がった時空間における量子論をゲージ/弦理論対応からと格子正則化から追求する研究を主に遂行した。

査読付国際誌への掲載

[1] K. Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Origin of Small Cosmological Constant in Brane-World", Physical Review D66(2002) 124020-1-6..

[2] Iver Brevik, K. Ghoroku, Sergei D. Odintsov and Masznobu Yahiro, "Localization of Gravity on Brane embedded in AdS5 and dS5", Physical Review D66 (2002) 064016-1-9..

[3] M. Hayakawa and N. Ishibashi, Perturbative world-volume dynamics of the bosonic membrane and string, Nucl. Phys. B **614** (2001) 171.

[4] K. Ghoroku and Akihiro Nakamura, "Massive vector trapping as a gauge boson on a brane", Physical Review D65(2003), 084017-1–6.

[5] K. Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Scalar field localization on a brane with cosmological constant", Classical and Quantum Gravity, Vol.20 (2003) 3717-3728..

[6] K. Ghoroku, Akihiro Nakamura and Masanobu Yahiro, "Newton's law in de Sitter brane", Physics Letters B571(2003), pp223-228.

[7] K. Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Scalar field localization on a brane with cosmological constant", Classical and Quantum Gravity, 20(2003), pp3717-3728.

[8] K. Ghoroku, Motoi Tachibana and Nobuhiro Uekusa, "Dilaton coupled brane-world and field trapping", Physical Review D68 (2003) 125002-1-8.

[9] Akio Sugamoto, "Generation of 4-D gauge theory and gravity from hteir 3-D versions", Grav.Cosmol. 9(2003), pp91-94.

[10] Akio Sugamoto, "Generation of 4-D gauge theory and gravity from hteir 3-D versions", Grav.Cosmol. 9(2003), pp91-94.

[11] Shin'ichi Nojiri, Sergei D. Odintsov and Akio Sugamoto, "Freedom inelectroweak symmetry breaking and mass matrix of fermions in dimensional deconstruction model", Physics Letters B (2004), pp.

[12] Yuko Kobashi, Bhabani Prasad Mandal and Akio Sugamoto, "Exiton in matrix formulation of quantum hall effect", Nucl. Phys. B679(2004), pp405-426.

[13] Kazuo Ghoroku, "Gauge-gravity correspondence in a de Sitter braneworld", Physcal Review D69(2004), pp084003-1-8.

[14] Iver Brevik, Kazuo Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Radius stabilization and brane running in the Randall-Sundrum type I model", Physcal Review D(2004), pp.

[15] Iver Brevik, Kazuo Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Effective action and brane running", Physcal Review D69(2004), pp064004.

[16] Kazuo Ghoroku, "Gauge gravity correspondence in a de Sitter braneworld", Physcal Review D69(2004), pp0640.

[17] Yuuichirou Shibusa and Tsukasa Tada, "Note on a fermionic solution of the matrix model and noncommutative superspace", Physics Letters B 579(2004), pp211-216.

[18] M. Hanada, M. Hayakawa, N. Ishibashi, H. Kawai, T. Kuroki, Y. Matsuo and T. Tada, "Loops versus Matrices: The nonperturbative aspectsof noncritical string", Progress of Theoretical Physics 112 131-181 (2004), pp211-216.

[19] M. Hayakawa and N. Ishibashi, Perturbative dynamics of matrix string for the membrane, JHEP **0404** (2004) 047.

[20] Kazuo Ghoroku, "Flavor meson localization in 5d brane-world", Physics Letters B632(2006), pp405-410.

[21] Iver Brevik, Kazuo Ghoroku and Akihiro Nakamura, "Meson mass and confinement force driven by dilaton", International Journal of Modern Physics D 15(2006), pp.

[22] Kazuo Ghoroku, T. Sakaguchi, Nobuhiro Uekusa and Masanobu Yahiro, "Flavor quark at high temperature from holographic model", Physical Review D 71(2006), pp106002.

[23] Kazuo Ghoroku, N. Maru, M. Tachibana and Masanobu Yahiro, "Flavor quark at high temperature from holographic model", Physics Letters B633(2006), pp602-606.

A6

[24] M. Hayakawa, T. Blum, T. Izubuchi and N. Yamada, Hadronic light-by-light scattering contribution to the muon $g-2$ from lattice QCD: Methodology, PoS **LAT2005** (2006) 353.

[25] N. Yamada, T. Blum, M. Hayakawa and T. Izubuchi, Electromagnetic properties of hadrons with two flavors of dynamical domain wall fermions, PoS **LAT2005** (2006) 092.

[26] T. Aoyama, M. Hayakawa, T. Kinoshita and M. Nio, "Automated calculation scheme for α^n contributions of QED to lepton $g-2$: Generating renormalized amplitudes for diagrams without lepton loops", Nucl. Phys. B **740** (2006) 138.

[27] T. Aoyama, M. Hayakawa, T. Kinoshita and M. Nio, "Automated calculation scheme for α^n contributions of QED to lepton $g-2$", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **157** (2006) 106.

[28] Kazuo Ghoroku and Masanobu Yahiro, "Holographic model for mesons at finite temperature", Physical Review D **37**, pp 125010 (2006).

[29] Kazuo Ghoroku, A. Nakamura and Masanobu Yahiro, "Holographic Model at Finite Temperature with R-charge density", Physics Letters B**638**, pp 382-387 (2006).

[30] Kazuo Ghoroku M. Ishihara and A. Nakamura, "Gauge theory in de Sitter space-time from a holographic model", Physical Review D **74**, pp 124020 (2006).

[31] Kazuo Ghoroku M. Ishihara and A. Nakamura, "Flavor quarks in AdS4 and gauge/gravity correspondence", Physical Review D **75**, pp 046005 (2006).

[32] H. So, M. Hayakawa and H. Suzuki, "Overlap lattice fermion in a gravitational field", Progress of Theoretical Physics **116**, pp 197-215 (2006).

[33] H. Fukaya, I. Kanamori, H. Suzuki, M. Hayakawa and T. Takimi, "Note on massless bosonic states in two-dimensional field theories", Progress of Theoretical Physics **116**, pp 1117-1129 (2006).

[34] T. Kinoshita, T. Aoyama, M. Hayakawa and M. Nio, "Automated evaluation of the alpha**5 term of lepton g-2: Progress report", Nucl. Phys. Proc. Suppl. **160**, pp 235-239 (2006).

[35] Masako Bando, Akio Sugamoto and Sachiko Terunuma, "Meson strings and flavor branes", Progress of Theoretical Physics **115**, pp 1111-1127 (2006).

国際会議招待講演

[1] T. Tada, “Noncommutative Supersapce and Matrix Models”, Quantum Particles and Fields - 3, 2004 年 8 月 24 日.

[2] K. Ghoroku, “Chiral symmetry breaking and confinement driven by dilaton”, AdS/CFT and QCD, 28-30 Oct, at Seoul, Korea 2004 年 10 月 30 日.

[3] K. Ghoroku, “Holographic approach to the thermal properties of light mesons”, ATHIC, June 29-July 1, 2006 at Yonsei Univ. Seoul, Korea, 2006 年 7 月 1 日.

[4] K. Ghoroku, “A holographic model and thermal properties of light mesons”, Trento Workshop on Hadrons and Strings at ECT, Trento, Italy July 17-22, 2006 年 7 月 17-22 日.

国内会議招待講演

[1] K. Ghoroku, 「ホログラフィックモデルから見たフレーバークウォークとメソン」, 熱場の量子論とその応用, 8 月 24-26 日、基研, 2005 年 9 月 14 日.

[2] K. Ghoroku, ”Dynamical properties of flavor quarks from a holographic model”, QCD ダイナミクスの理解に向けての様々なアプローチ, 平成 17 年 3 月 12 日, 理化学研究所 , 2005 年 3 月 12 日.

学会発表

[1] 早川雅司, Study of electromagnetic splitting from $N_F = 2$ dynamical domain wall QCD, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[2] 早川雅司, Hadronic light-by-light scattering contribution to the muon $g - 2$ from lattice QCD: Methodology, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[3] 郷六一生, ”Dilaton and chiral symmetry breaking gravity/gauge correspondence”, 日本物理学会 終期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[4] 郷六一生, 「有限温度 QCD に対するホログラフィックモデルと軽い中間子に関する諸物理量の温度依存性」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 30 日.

[5] 多田司, 「Matrix Model and Geometry」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

計画班: B7

研究課題名: 素粒子論および物性理論における場の理論の諸問題の現代的研究

研究代表者: 河本 昇　北海道大学大学院・教授
石川 健三　北海道大学大学院・教授
中山 隆一　北海道大学大学院・准教授

重要な成果

ツイストされた超対称性の格子上での定式化の提案を行った。具体的には 2 次元 N=2 の超対称性を持つ、BF 理論、Wess-zumino 理論、Super Yang-Mills 理論に対して、全ての超対称電荷に対して格子上で厳密に超対称性を保存する定式化の提案を行った。この定式化は 3 次元、N=4 の超対称性を持つ Super Yang-Mills に拡張出来ることも示した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

一般化されたヤング・ミルズゲージ理論により Weinberg-Salam 模型の定式化を行った。量子ホールガス特異な熱力学的性質や、電気伝導性が解明された。D ブレーン上の座標非可換なゲージ理論を構成した。

平成 14 年度:

2 次元量子重力のフラクタル次元の c 依存性の数値的解析的依存性が解明された。量子ホール系の縞模様状態に対しての集団励起状態の解明が進んだ。非可換 2 次元球面上の場の理論における非可換積の研究を行った。

平成 15 年度:

ツイストされた超対称理論の 2 次元 N=2 の超場の定式化が完成した。非可換 4 次元球面上の場の理論の定式化を行った。

平成 16 年度:

ツイストされた超対称理論の 4 次元 N=4 の超場の定式化が完成した。非等方な量子ホールガスの種々の性質を明らかにした。非可換な 4 次元球面上のスカラー場の理論の定式化を行った。ニュートリノ振動の波束の効果と多体の効果を取り入れた解析が行われた。

平成 17 年度:

ツイストされた超対称性を持つ超場の格子上での定式化が完成し 2 次元超対称 BF 及びベス・ズミノ理論に応用した。ニュートリノ振動の波束の効果を取り入れた効果の具体的解析が行われた。

平成 18 年度:

2 次元 N=2 のツイストされた超対称ヤング・ミルズ理論の格子上での定式化が完成した。超対称性の格子上の定式化に於いて行列表示の定式化に進展があった。 3 次元超対称ヤング・ミルズ理論の格子上での定式化が完成した。強結合極限での SU(3) 格子ゲージ理論の有効相互作用を有限温度、有限密度で求め、相図を明らかにした。強磁場中の 2 次元電子系 (量子ホール系) の多体効果に起因する物理を理論的に研究し、平行移動対称性や回転対称性を自発的に破る多体状態である非等方的量子ホールガス状態に関して、有限電流により相が変わることを見いだし、ストライプ状態や非対称電荷密度波状態についての理解が進んだ。

査読付国際誌への掲載

[1] Noboru Kawamoto, Takuya Tsukioka and Hiroshi Umetsu, " GENERALIZED GAUGE THEORIES AND WEINBERG-SALAM MODEL WITH DIRAC-KAHLER FERMIONS", Int.J.Mod.Phys.A16:3867-3896,2001.

[2] K.Ishikawa and N.Maeda, "Pressure,Resistences,and Current Activation of Anisotropic Compressible Hall States", Physics B298, (2001) 159-163.

[3] Noboru Kawamoto and Kenji Yotsuji , "NUMERICAL STUDY FOR THE C DEPENDENCE OF FRACTAL DIMENSION IN TWO-DIMENSIONAL QUANTUM GRAVITY", Nucl.Phys.B644:533-567,2002.

[4] T.Aoyama , K. Ishikawa and N.Maeda,, "Optimal orientation of striped states in the quantum Hall system against external modulations ", European Physics Letters 59, (2002) 444-450.

[5] T.Aoyama. K. Ishikawa , Y.Ishizuka,and,N.Maeda, "Energy Spectrum of neutral collective excitations in striped Hall states", Phys.Rev B 66, (2002) 155319.

[6] K. Ishikawa and T.Yabuki , "Neutrono Oscillations in the intermediate states:(I) Plane Waves", Progress of Theoretical Physics 108, (2002) 347-362.

[7] K. Hayasaka and R. Nakayama, "An Associative and Noncommutative Product for the Low Energy Effective Theory of a D-Brane in Curved Backgrounds and Bi-Local Fields", Nucl. Phys. B624, No.1-2 (2002) 307-326.

[8] T. Aoyama, K. Ishikawa, Y. Ishizuka and N. Maeda, "Field theory of Anisotropic Quantum Hall Gas: Metrology and a Novel Quantum Hall Regime", Int. Mod. Phys. B17 (2003) 4765.

[9] T. Aoyama, K. Ishikawa and Y. Ishizuka and N. Maeda , "Neutral Collective Excitations in Striped Hall States", Physica E 18 (2003) 122 and Phys.Rev .B 66, (2002) 155319.

[10] K. Hayasaka, R. Nakayama and Y. Takaya, "A new noncommutative product on the fuzzy two-sphere corresponding to the unitary representation of SU(2) and the Seiberg-Witten map", Phys. Lett. B553, No.1-2 (2003) 109-118.

[11] Issaku Kanamori and Noboru Kawamoto, "DIRAC-KAHLER FERMION FROM CLIFFORD PRODUCT WITH NONCOMMUTATIVE DIFFERENTIAL FORM ON A LATTICE", Int.J.Mod.Phys.A19:695-736,2004.

[12] I. Kanamori and N. Kawamoto, "DIRAC-KAHLER FERMION WITH NONCOMMUTATIVE DIFFERENTIAL FORMS ON A LATTICE", Nucl.Phys.Proc.Suppl.129:877-879,2004.

[13] Junji Kato, Noboru Kawamoto and Yukiya Uchida , " TWISTED SUPERSPACE FOR N=D=2 SUPER BF AND YANG-MILLS WITH DIRAC-KAHLER FERMION MECHANISM", Int. J. Mod Phys A19 (2004) 2149-2182.

[14] N. Kawamoto and K. Yotsuji, "C-DEPENDENCE OF FRACTAL DIMENSION IN TWO-DIMENSIONAL QUANTUM GRAVITY", Nucl.Phys.Proc.Suppl.129-130:794-796,2004.

[15] T.Aoyama, K.Ishikawa, Y. Ishizuka, and N. Maeda, "Intra-Landau level polarization effects for striped Hall gas,", Phys.Rev.B70, 035314(2004).

[16] R. Nakayama and Y. Shimono, "Matrix Configurations for spherical 4-branes and non-commutative structures on S^4", Nucl. Phys. B693, No.1-3, (2004) 176-194.

[17] R. Nakayama and Y. Shimono, "Non-commutative Field Theory on S^4", Prog. Theor. Phys. 112 No.5 (2004) 883-894.

[18] K. Ishikawa and T.Shimomura, "Generalized S-matrix in Mixed Representation", Prog. Theor. Phys.114 (2005) 1201-1234 .

[19] A. Asahara, K. Ishikawa and T.Shimomura, T. Yabuki, "Neutrino Oscillations in Intermediate States.II", Prog. Theor. Phys.113 (2005) 385-411 .

[20] Alessandro D'Adda, Issaku Kanamori, Noboru Kawamoto,Kazuhiro Nagata , "TWISTED SUPERSPACE ON A LATTICE", Nucl. Phys. B707 (2005) 100-144.

[21] Alessandro D'Adda, Issaku Kanamori, Noboru Kawamoto,Kazuhiro Nagata , "EXACT EXTENDED SUPERSYMMETRY ON A LATTICE: TWISTED N=2 SUPER YANG-MILLS IN TWO DIMENSIONS,", Phys.Lett.B633:645-652,2006.

[22] Junji Kato, Noboru Kawamoto, Akiko Miyake, "N=4 TWISTED SUPERSPACE FROM DIRAC-KAHLER TWIST AND OFF-SHELL SUSY INVARIANT ACTIONS IN FOUR DIMENSIONS", Nucl. Phys. B721 (2005) 229-286.

[23] Alessandro D'Adda , Issaku Kanamori, Noboru Kawamoto, Kazuhiro Nagata, "TWISTED N=2 EXACT SUSY ON THE LATTICE FOR BF AND WESS-ZUMINO", Nucl. Phys. Proc. Suppl 140 (2005) 757-759.

[24] N. Kawamoto, K. Miura, A. Ohnishi, T. Ohnuma, " Phase diagram at finite temperature and quark density in the strong coupling limit of lattice QCD for color SU(3)", Phys.Rev.D75:014502,2007.

[25] R. Nakayama, "Fuzzy Torus and q-Deformed Lie Algebra", Phys. Lett. B638, 283-287, 2006.

[26] A. D'Adda, I. Kanamori, N. Kawamoto, K. Nagata, "Exact extended supersymmetry on a lattice: Twisted N=2 super Yang-Mills in two dimensions", Phys.Lett.B633:645-652,2006.

国際会議招待講演

[1] Noboru Kawamoto, "Twisted Superspace and Dirac-Kaehler Fermion", Brane World and Super Symmetry (Vancouver, Canada), 2002 年 7 月 22 日.

[2] Noboru Kawamoto, "Twisted Superspace and Dirac-Kaehler Fermion from Generalized Gauge Theory", Rondom Surface and Quantum Gravity (Kolimpari, Crete, Greece), 2002 年 9 月 6 日.

[3] Kenzo Ishikawa, "Neutrino Oscillatins in the Intermediate states: (I) Plane Waves", Field Theory of Neutrino Oscillation (Vietri, Italy), 2002 年 5 月.

[4] Noboru Kawamoto, "Two-dimensional Quantum Gravity on the Lattice", Nonperturvative QCD (Tashkent, Uzbekistan), 2003 年 9 月 22 日.

[5] Kenzo Ishikawa, "International symposium on New Trends of Physics ", Theory of orientational symmetry breaking in quantum Hall state , 2003 年 1 月 20 日.

[6] Kenzo Ishikawa, "Field Theory of Anisotropic quantum Hall Gas", Quantum Field Theory under the Influence of External Conditions (Oklahoma, USA), 2003 年 9 月.

[7] Kenzo Ishikawa, “Wave Packet scattering as a bridge between large and small scale ”, Physics for Large and Small scales, 2006 年 1 月 08 日.

[8] Noboru Kawamoto, “Phase diagram at finite temperature and quark density in the strong coupling region of lattice QCD for color SU(3)”, 19th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2006 (QM2006), Shanghai, China, 2006 年 11 月 14 日.

国内会議招待講演

[1] 河本昇, “Twist of super Yang-Mills from Dirac-Kaehler Fermion Formulation”, 「場の理論の数理とその応用」(数理解析研究所), 2002 年 9 月.

[2] 河本昇,「格子重力」,「格子場の理論スクール」, 2002 年 10 月.

[3] 石川健三,「量子ホールガスの異常な性質」, 東大物性研究会, 2002 年 2 月.

[4] 石川健三,「南部− ゴールドストーンモードは Kohn の定理を破るか？」,「場の理論とその応用」(基礎物理学研究所), 2002 年 12 月.

[5] 河本昇, “Twisted Super Yang-Mills on a Lattice”, 「超弦理論と場の理論のダイナミックス」(大阪市立大学), 2006 年 2 月 6 日.

[6] 河本昇, “Twisted Super Yang-Mills on a Lattice”, “Actions and symmetries in lattice gauge theory” (基礎物理学研究所), 2006 年 2 月 13 日.

学会発表

[1] 加藤順司、河本昇, 内田幸也, Supersymmetry from Generalized Gauge Theory I」, 日本物理学会 2001 年秋期大会分科会, 2001 年 x 月 xx 日.

[2] 加藤順司、河本昇, 内田幸也, Supersymmetry from Generalized Gauge Theory II」, 日本物理学会 2001 年秋期大会分科会, 2001 年 x 月 xx 日.

[3] 加藤順司、河本昇, 内田幸也,「N=D=2 Twisted Superspace Formalism and DirackKaehler Fermion」, 日本物理学会 2002 年秋期大会分科会, 2002 年 x 月 xx 日.

[4] 金森逸作、河本昇,「格子上の非可換微分形式を用いた Dirac-Kaehler フェルミオン」, 日本物理学会 2002 年秋期大会分科会, 2002 年 x 月 xx 日.

[5] 永田和弘、加藤順司、河本昇,「N=4 Twisted Super Yang-Mills as a quantized Generalized Gauge Theory」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 x 月 xx 日.

[6] 金森逸作、河本昇,「格子上の非可換微分形式を用いたフェルミオンと Ginsparg-Wilson 関係式」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 xx 日.

[7] 金森逸作、河本昇,「格子上の非可換微分形式を用いたフェルミオンと経路積分」, 日本物理学会 2003 年秋期 大会分科会, 2003 年 x 月 xx 日.

[8] 河本昇,「Dirac-Kaehler Fermion with Non-commutative Differential Forms on a Lattice」, LATTICE 2003 (Tsukuba, Japan), 2003 年 7 月 15 日.

[9] 河本昇,「c-dependence of Fracta Dimension in Two-dimensional Quantum Gravity」, LATTICE 2003 (Tsukuba, Japan), 2003 年 7 月 15 日.

[10] 河本昇,「Twisted N=2 Exact SUSY on the Lattice for BF and Wess-Zumino」, LATTICE 2004 (Batavia, Illinois, USA), 2004 年 6 月 21 日.

[11] A. D'Adda、 金森逸作、河本昇、永田和広, 「N=D=2 Twisted Supersymmetry on the Lattice I」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 xx 日.

[12] A. D'Adda、 金森逸作、河本昇、永田和広, 「N=D=2 Twisted Supersymmetry on the Lattice II」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 xx 日.

[13] 加藤順司、河本昇, 「N=4 Twisted Superspace Formalism and Dirac-Kaehler Fermion in four dimensions」, 日本物理学会第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 xx 日.

[14] 石塚由美子、青山尚広、石川健三、前田展希,「ストライプホールガスの電磁波吸収」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 xx 日.

[15] 前田展希、青山尚広、石川健三, 石塚由美子,「Plasmon spectrum in the Striped Hall state」, 日本物理学会 年次大会, 2004 年 3 月 xx 日.

[16] 浅原彰規、下村崇、石川健三、矢吹哲夫,「ニュートリノ振動の場の理論と波束の効果」, 日本物理学会 年次大会, 2004 年 3 月 xx 日.

[17] 前田展希、青山尚弘、石塚由美子、石川健三,「Nambu-Goldstone mode in the striped Hall gas」, 京都大学基礎物理学研究所研究会「場の理論の基礎的諸問題とその応用」, 2004 年 12 月 xx 日.

[18] 下村崇, 石川健三、矢吹哲夫, 「ニュートリノ振動現象の場の理論的取り扱いとその効果について」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 xx 日.

[19] 石塚由美子、青山尚広、石川健三、前田展希,「量子ホール系の代数とサイクロトロン共鳴」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 xx 日.

[20] 青山尚広、石川健三, 石塚由美子、前田展希,「Intra-Landau level polarization effect for the striped Hall states II」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 xx 日.

[21] 石塚由美子、前田展希、青山尚広、石川健三,「磁気並進対称性と異方的ホール状態」, 日本物理学会 200x 年秋期大会, 2002 年 x 月 xx 日.

[22] 石塚由美子、前田展希、石川健三、青山尚広,「ストライプホール状態における低エネルギー励起状態」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 x 月 xx 日.

[23] 青山尚広、石川健三、前田展希, 「周期外場中のホールストライプ状態の方向対称性の破れ II」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 x 月 xx 日.

[24] 石川健三、前田展希, 「量子ホールガスの異常な性質」, 東大物性研研究会「量子ホール効果の新展開」, 2002 年 2 月 xx 日.

[25] 青山尚広、石川健三、前田展希,「ストライプホール状態における低エネルギー励起状態」, 東大物性研研究会「量子ホール効果の新展開」, 2002 年 2 月 xx 日.

[26] 石塚由美子、前田展希、石川健三、青山尚広,「量子ホール系におけるストライプ状態の安定性」, 日本物理学会 第 56 回年次大会, 2001 年 x 月 xx 日.

[27] 石川健三、下村崇,「太陽ニュートリノ振動に対する波束と緩和時間の効果」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 x 月 xx 日.

[28] 石川健三、下村崇,「ニュートリノ振動の波束を用いた場の理論的解析」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 x 月 xx 日.

[29] 石塚由美子、前田展希、石川健三、青山尚広,「磁場中の 2 次元系における対称性の破れによるストライプ状態の有効相互作用」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 x 月 xx 日.

計画班: B8

研究課題名: 非可換空間上の場の理論とその応用

研究代表者: 江澤 潤一 東北大学大学院・教授
綿村 哲 東北大学大学院・助教授

重要な成果

本計画班の最大の成果は、非可換幾何学の観点から、量子ホール効果の物理の集大成を行ったことである。量子ホール系は、電子の位置を表す x 座標と y 座標が交換しないという非可換性によって完全に支配される特異な系である。実験的に観測されている準粒子を非可換ソリトンと解釈し、また、諸々の量子位相現象を非可換空間上のクーロン相互作用の帰結として説明した。その成果は多数の原著論文に纏めると同時に、740 ページの単行本（World Scientific 社，Quantum Hall Effects 改定第二版）として刊行した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

（江澤）非可換幾何学は量子ホール系で具体的に実現している。 2 層系において CP3 ソリトンを解析した。（綿村）非可換空間上のゲージ理論における ADHM 構成の解析と非可換インスタントン解における reciprocity の研究を行こなった。

平成 14 年度:

（江澤）2 層量子ホール系の対称群は W_∞ の SU(4) 拡大群になることを示し、これを $W_\infty(4)$ 代数と命名した。次いでグラスマン多様体上のソリトンを解析した。占有率 $\nu = 2$ では 2 個の電子からなるソリトンが最低エネルギー励起であることを示し実験結果を説明した。（綿村）非可換空間に固有のインスタントン解の周りでのフェルミオンゼロモードを構成した。

平成 15 年度:

（江澤）有効理論に基づき CP3 ソリトンの励起エネルギーを外部パラメターの関数として計算し、パラメターを動かし実験との比較を行い，実験結果を見事に説明できることを示した。（綿村）量子化された CPn の上でのゲージ場の配位の解析を行った。特に、射影的加群の系統的な構成に関しての研究を行った。この結果、非可換 CPn における磁気単極子に相当する配位の構成に成功した。

平成 16 年度:

（江澤）量子ホール系で、位相的荷電密度と電荷密度の間の関係式を導いた。これは非可換幾何学空間でのみ成り立つ特有な関係式である。更に，この関係式が量子ホール系における励起エネルギーに対する実験結果の特異な振る舞いを説明できることを示した。（綿村）非可換 CPn におけるモノポール解に相当する配位の、トポロジカルな数を求める問題を考え、非可換 CPn においてチャーン数の表示を求めることに成功した。

平成 17 年度:

（江澤）非可換平面上で、空孔励起を $W_\infty(N)$ 回転して、非可換ソリトンの量子力学的状態を構成した。可換平面上では空孔励起は位相的荷電を持たないが，非可換平面上では持つことになる（綿村）通常の ADHM 構成を超空間に拡張し、それを更に変形することで非可換超空間上の超場形式を用いた変形された ADHM 構成ができることを示した。

平成 18 年度:

（江澤）量子ホール系で実現している非可換空間の物理では運動エネルギー項は存在しない。この様な系での運動方程式を解析し、量子位相に対する有効理論を構築した。この結果を用いて 2 層量子ホール系で縦抵抗がゼロになる特異な現象があることを示し実験を説明した。（綿村）非可換超空間上でインスタントン解を構成する時の微分代数の構成法が最近提唱されたホップ代数による変形量子化との関係を研究している。 6 年間の研究期間中に江澤は 25 編の、綿村は 3 編の原著論文を発表した。

査読付国際誌への掲載

[1] Z.F. Ezawa and K. Hasebe, "Interlayer exchange interactions, SU(4) soft waves and skyrmions in bilayer quantum Hall systems", Phys. Rev. B 65 (2002) 075311.

[2] Z.F. Ezawa and K. Hasebe, "SU(4) quantum coherence and interlayer tunneling in bilayer quantum Hall systems", Physica E 12 (2002) 24.

[3] N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda, H. Azuhata, A. Sawada, Z. F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama, "Various phase transitions in $\nu = 2/3$ bilayer quantum Hall states: N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda, H. Azuhata, A. Sawada, Z. F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama ", Physica E 12 (2002) 32.

[4] N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda, H. Azuhata, A. Sawada, Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama, "Phase diagram of interacting composite fermions in the bilayer ν=$\frac{2}{3}$ quantum hall effect", Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 116802.

[5] Z.F. Ezawa, A. Sawada and N. Kumada, "Integer and fractional quantum Hall effects in Bilayer Electron Systems", J. Phys. Chemi. Solids 63 (2002) 1289.

[6] K. Hasebe and Z.F. Ezawa, "Grassmannian fields and doubly enhanced skyrmions in the bilayer quantum Hall system at $\nu = 2$", Phys. Rev. B 66 (2002) 155318.

[7] A. Sawada, D. Terasawa, N. Kumada, M. Morino, K. Tagasira, Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama, "Continuous transformation from spin- to pseudospin-type excitation ", Physica E 18 (2003) 118.

[8] Z.F. Ezawa, G. Tsitsishvili and K. Hasebe, "Noncommutative Geometry, Extended W_∞ Algebra and Grassmannian Solitons in Multicomponent Quantum Hall Systems ", Phys. Rev. B 67 (2003) 125314.

[9] N. Kumada, D. Terasawa, M. Morino, K. Tagashira, A. Sawada, and Z.F. Ezawa, K. Muraki and Y. Hirayama, "Phase diagrams of $\nu = 2$ and $\nu = \frac{2}{3}$ quantum Hall states in bilayer system ", Phys. Rev. B 69 (2004) 155319.

[10] N. Kumada, K. Tagashira, K. Iwata, A. Sawada, Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama, "Effects of In-plane Magnetic Fields on Spin Transitions in Bilayer Quantum Hall States ", Physica E 22 (2004) 36.

[11] D. Terasawa, M. Morino, K. Nakada, S. Kozumi, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama, "Simultaneous Excitation of Spins and Pseudospins in the Bilayer $\nu = 1$ Quantum Hall State ", Physica E 22 (2004) 52.

[12] Z.F. Ezawa and G. Tsitsishvili, "SU(4) Skyrmions and Activation Energy Anomaly in Bilayer Quantum Hall Systems ", Phys. Rev. B 70 (2004) 125304.

[13] Z.F. Ezawa, M. Eliashvili and G. Tsitsishvili, " Ground-State Structure in $\nu = 2$ Bilayer Quantum Hall Systems", Phys. Rev. B 71 (2005) 125318.

[14] M. Morino, K. Iwata, A. Fukuda, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada, and Y. Hirayama, "Anisotropic Transport on the $\nu = 1$ Bilayer Quantum Hall System under Tilted Magnetic Field ", Int. J. Mod. Phys. B 18 (2005) 3705.

[15] D. Terasawa, K. Nakada, S. Kozumi, Z.F. Ezawa, A. Fukuda, A. Sawada, N. Kumada, K. Muraki and Y. Hirayama, "Double Magnetoresistance Minima Induced by the In-Plane Magnetic Field for the $\nu = 1$ Double-Layer Quantum Hall State ", Int. J. Mod. Phys. B 18 (2005) 3709.

[16] K. Iwata, M. Morino, M. Suzuki, A. Fukuda, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada and Y. Hirayama, "Anisotropic Magnetotransport around the $\nu = 1$ Bilayer Quantum Hall State: ", J. Phys. Chemi. Solids 66 (2005) 1556.

[17] D. Terasawa, S. Kozumi, A. Fukuda, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada, Y. Hirayama, "Pseudospin Domain of $\nu = 1$ Double-Layer Quantum Hall State near Commensurate-Incommensurate Transition: D. Terasawa, S. Kozumi, A. Fukuda, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada, Y. Hirayama ", J. Phys. Chemi. Solids 66 (2005) 1560.

[18] G. Tsitsishvili and Z.F. Ezawa , "Microscopic Theory of Skyrmions in Quantum Hall Ferromagnets ", Phys. Rev. B 72 (2005) 115306.

[19] Z.F. Ezawa and G. Tsitsishvili, "Topological Solitons in Noncommutative Plane and Quantum Hall Skyrmions: ", PR D 72 (2005) 85002.

[20] U. Carow-Watamura, H. Steinacker and S. Watamura , "Monopole Bundles over Fuzzy Complex Projective Spaces", Journal of Geometry and Physics, 54 (2005), 373-399.

[21] T. Araki, T. Takashima and S. Watamura , "On A Superfield Extension of The ADHM Construction and N=1 Super Instantons ", Journal of High Energy Physics, 0508 (2005) 065.

[22] T. Araki, T. Takashima and S. Watamura , "Instantons in N=1/2 Super Yang-Mills Theory via Deformed Super ADHM Construction", Journal of High Energy Physics, 0512 (2005) 044.

[23] A. Fukuda, A. Sawada, S. Kozumi, D. Terasawa, Y. Shimoda, Z.F. Ezawa, N. Kumada, Y. Hirayama, "Magnetotransport Study of the Canted Antiferromagnetic Phase in Bilayer $\nu = 2$ Quantum Hall State ", Phys. Rev. B73 (2006) 165304.

[24] A. Fukuda, S. Kozumi, D. Terasawa, Y. Shimoda, N. Kumada, Y. Hirayama, Z.F. Ezawa, A. Sawada, Quantum Transport Study of Canted Antiferromagnet Phase in the $\nu = 2$ Bilayer Quantum Hall State, Physica E 34 (2006) 77-80.

[25] D. Terasawa, A. Fukuda, S. Kozumi, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada and Y. Hirayama, Stability of Soliton Lattice phase in $\nu = 1$ Bilayer Quantum Hall State under Tilted Magnetic Field, Physica E 34 (2006) 81-84.

[26] M. Morino, K. Iwata, M. Suzuki, A. Fukuda, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada and Y. Hirayama, Anisotropic Magnetotransport near the $\nu = 2/3$ Quantum Hall State, Physica E 34 (2006) 152-155.

[27] Z.F. Ezawa, S. Suzuki, G. Tsitsishvili, Anomalous Quantum-Hall Resistance in Bilayer Counterflow Transport, Physica Status Solidi (c) 4 (2007) 485.

国際会議招待講演

[1] Z.F. Ezawa, "Integer and fractional quantum Hall effects in Bilayer Electron Systems", The 8th ISSP International Symposium "Correlated Electrons", Kashiwa, Japan, 2001 年 10 月 2 日 .

[2] S. Watamura, "Reciprocity of Noncommutative Instanton", China-Japan Joint Workshop on Mathematical Physics Nov. 4–7, 2002, Beijing Univ., Beijing., 2002 年 11 月 5 日.

[3] Z.F. Ezawa, "Spin-Pseudospin SU(4) Coherent Phenomena in Bilayer Quantum Hall Systems", Advanced Heterostructure International Workshop, Hawai, USA, 2002 年 12 月 1 日.

[4] S. Watamura, “Reciprocity and ADHM construction in noncommutative gauge theory”, Noncommutative Geometry and Quantum Field Theory, Jan. 10-15, 2003、Institute of Mathematical Sciences, Chennai, India , 2003 年 1 月 12 日.

[5] S. Watamura, “Fuzzy CP_n and Line Bundle”, Noncommutative Geometry and Physics 2004, Keio University, Yokohama, February 26 to March 3, 2004 , 2004 年 3 月 2 日.

[6] Z.F. Ezawa, “Noncommutative Geometry, Effective Field Theory and Skyrmions in Quantum Hall Systems”, International Workshop on Multifaceted Skyrmions and Effective Field Theory, Seoul, Korea, 2004 年 10 月 25 日.

[7] S. Watamura, “ADHM construction on Superspace and its Deformation”, Noncommutative Geometry in Field and String Theories, September 18–20, 2005, Corfu, Greece , 2005 年 9 月 18 日.

[8] S. Watamura, “A deformation of the differential algebra on Superspace”, Noncommutative Geometry and Physics 2005, Beijing, China , 2005 年 11 月 8 日.

[9] S. Watamura, “Differential Calculus on NC Superspace, Instantons and Diffeomorphisms”, Bayrischzell Workshop 2006 on noncommutativity and physics, Bayrischzell, April 21-25, 2006, 2006 年 4 月 23 日.

国内会議招待講演

[1] 綿村　哲,「非可換幾何学と場の理論」, 素粒子原子核三者若手夏の学校, 2001 年 8 月 4,5 日.

[2] 綿村　哲,「非可換空間上のゲージ理論」, Summer School 数理物理 2002, 2002 年 9 月 21,22 日.

学会発表

[1] 田頭邦弘、熊田倫雄、下田雄一、森野正行、澤田安樹、江澤潤一、村木康二、佐久規、平山祥郎,「2 層系における整数量子ホール効果と分数量子ホール効果の比較」, 日本物理学会 秋季大会 (中部大), 2002 年 9 月 8 日.

[2] 熊田倫雄、田頭邦弘、岩田一樹、澤田安樹、江澤潤一、村木康二、佐久規、平山祥郎,「2 層系量子ホール状態における準位交差− 反交差現象」, 日本物理学会 第 58 回年次大会 (東北大), 2003 年 3 月 31 日.

[3] 中田和孝、寺澤大樹、古住信介、澤田安樹、江澤潤一、熊田倫雄、村木康二、佐久規、平山祥郎,「トンネリングギャップの大きい 2 層系ν =1 量子ホール状態における励起エネルギー」, 日本物理学会 秋季大会 (岡山大), 2003 年 9 月 21 日.

[4] 寺澤大樹、中田和孝、古住信介、澤田安樹、江澤潤一、熊田倫雄、村木康二、佐久規、平山祥郎,「2 層系ν =1 状態の整合・非整合相転移と磁気抵抗の 2 つの極小」, 日本物理学会 第 59 回年次大会 (九州大), 2004 年 3 月 28 日.

[5] 岩田一樹、森野正行、鈴木三千郎、福田昭、澤田安樹、江澤潤一、熊田倫雄、村木康二、平山祥郎,「2 層系量子ホール状態における電流方向と面内磁場方向の違いによる縦抵抗の異方性」, 日本物理学会 秋季大会 (青森大), 2004 年 9 月 13 日.

[6] 古住信介，寺澤大樹，福田昭，澤田安樹，江澤潤一，熊田倫雄，村木康二，平山祥郎,「2 層系ν =2 量子ホール状態の整合非整合相転移」, 日本物理学会 秋季大会 (青森大), 2004 年 9 月 13 日.

[7] 森野正行、岩田一樹、鈴木三千郎、福田昭、澤田安樹、江澤潤一、熊田倫雄、平山祥郎,「2層系ν =2/3 状態における異方的電気伝導」, 日本物理学会 第 60 回年次大会 (東京理科大), 2005 年 3 月 24 日.

[8] 寺澤大樹、古住信介、福田昭、澤田安樹、江澤潤一、熊田倫雄、平山祥郎,「2 層系ν =1 の面内磁場を加えたときの相図」, 日本物理学会 第 60 回年次大会 (東京理科大), 2005 年 3 月 24 日.

[9] 森野正行，鈴木三千郎，岩田一樹，福田昭，澤田安樹，江澤潤一，熊田倫雄，平山祥郎,「2層ν =1 量子ホール状態における縦抵抗の 2 つの極小と異方性」, 日本物理学会 秋季大会 (同志社大), 2005 年 9 月 20 日.

[10] 福田昭、古住信介、寺澤大樹、熊田倫雄、平山祥郎、江澤潤一、澤田安樹,「2 層系ν =2 量子ホール状態の傾角反強磁性相における横磁場の効果」, 日本物理学会 秋季大会 (同志社大), 2005 年 9 月 20 日.

[11] 福田昭、古住信介、寺澤大樹、熊田倫雄、平山祥郎、江澤潤一、澤田安樹,「2 層系ν =2 量子ホール状態の傾角反強磁性相における横磁場の効果」, 日本物理学会 第 61 回年次大会 (愛媛大), 2006 年 3 月 27 日.

[12] 岩田一樹、森野正行、福田昭、澤田安樹、江澤潤一、鈴木三千郎、熊田倫雄、平山祥郎,「ν =2/3 量子ホール状態におけるヒステリシスの異方性」, 日本物理学会 第 61 回年次大会 (愛媛大), 2006 年 3 月 27 日.

[13] 福田昭，岩田一樹，関川貴史，西中川良平，新井敏一， 澤田安樹，江澤潤一，熊田倫雄，平山祥郎,「2 層系ν =1/3 量子ホール状態」, 日本物理学会 秋季大会 (千葉大学), 2006 年 9 月 25 日.

[14] 岩田一樹，森野正行，福田昭，澤田安樹，江澤潤一，鈴木三千郎，熊田倫雄，平山祥郎,「ν =2/3 量子ホール状態におけるドメイン構造の面内磁場依存性」, 日本物理学会 秋季大会 (千葉大学), 2006 年 9 月 25 日.

[15] 福田昭，岩田一樹，関川貴史，西中川良平，新井敏一，澤田安樹，江澤潤一，熊田倫雄，平山祥郎,「2 層系ν =1/3 量子ホール状態における活性化エネルギーの電子密度差依存性」, 日本物理学会 春季大会 (鹿児島大), 2007 年 3 月 18 日.

[16] 岩田一樹，福田昭，西中川良平，関川貴史，澤田安樹，新井敏一，江澤潤一，熊田倫雄，平山祥郎,「強面内磁場下での 2 層系ν =3 量子ホール状態におけるヒステリシス現象」, 日本物理学会 春季大会 (鹿児島大), 2007 年 3 月 18 日.

ホームページの公開

[1] http://www.tuhep.phys.tohoku.ac.jp/~ezawa/

計画班: B9

研究課題名: ゲージ場の量子論におけるフェルミ粒子とソリトン

研究代表者: 藤川 和男　日本大学・教授
筒井 泉　高エネルギー加速器研究機構・助教授

重要な成果

全ての幾何学的な位相は、第 2 量子化において明確に現れる隠れた局所的対称性に付随したホロノミーとして理解でき、したがって全ての観測可能量はゲージ不変であることを示した。また、量子特異点の数理的分類とその物理的性質の研究を行い、それらが生成する Berry 位相や双対性、さらには特異点上の量子圧と粒子の統計性の関係等、量子特異点の多様な物理効果を明らかにした。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
格子上の場の理論、特に新しい Dirac 演算子の可能性を考察した。またスピンと統計の定理の異なる角度からの理解を示した。さらには、量子特異点の数理的性質を調べ、超対称性や双対性、Berry 位相などの興味深い現象が生成される可能性を見出した。

平成 14 年度:
格子上の場の理論におけるマヨラナ粒子の定義とか CP 対称性の定義にかかわる問題点を中心に考察した。また発散を持つポテンシャル系にも応用できるよう量子特異点の枠組を拡張し、特異点のスペクトルに対する影響を調べた。特に発散ポテンシャル系が古典再帰 (caustics) 現象を示す場合には、一種の状態複製が可能であることを示した。

平成 15 年度:
格子上での超対称性の定義に関する考察を続け、またソリトン解を持つ超対称な 2 次元模型に現れる一種の量子異常の考察を行った。さらには、特異点で仕切られた量子井戸系で発生する量子圧の温度依存性を調べ、それが井戸中の粒子の統計性に大きく依存することを明かにした。また、これとは別に非可換性空間上の電磁場理論における (古典) 解を構成し、非可換性に起因する異常分散関係と偏光条件を得た。

平成 16 年度:
ニュートリノの基礎的な性質に関する考察を行った。また、時空が非可換な理論におけるユニタリー性の問題点の考察を行った。さらには、量子特異点の性質を制御することにより、量子計算の qubit 素子として用いることが可能であることを示した。また、量子特異点を持つ可解系として Calogero 模型を考察し、$N = 3$ の場合に従来よりも一般的な量子解を得た。

平成 17 年度:
幾何学的な位相と呼ばれるものの、位相的な性質とかその背後にあるゲージ対称性の起源に関する考察を行い、幾何学的な位相と量子異常の基本的な差異を明らかにした。さらには、量子論の非局所相関性の応用として従来のゲーム理論を量子化し、ゲームの安定解が持つ性質 (ディレンマ解消など) に対する量子縺れ (エンタングルメント) の役割を詳しく調べた。

平成 18 年度:
非断熱的および混合状態の幾何学的な位相は全てシュレーディンガー方程式に内在する「隠れたゲージ対称性」に付随したホロノミーとして理解できることを示した。したがって、全ての観測量はゲージ不変である。また、量子特異点と粒子の統計性に関する研究成果をまとめるとともに、量子的な非局所相関をゲーム理論に導入する量子ゲーム理論に関しては、Schmidt 分解と呼ばれる複合量子状態表現に基づいて、計量可能な量子相関を持ち、かつ従来のアプローチを含む一般論を構築することに成功した。

査読付国際誌への掲載

[1] K. Fujikawa and M. Ishibashi, " Locality properties of a new class of lattice Dirac operators", *Nucl. Phys.* **B605** (2001) 365-394.

[2] K. Fujikawa, "Spin-statistics theorem in path integral formulation", *Int. J. Mod. Phys.***A 16** (2001) 4025-4044.

[3] T. Cheon, T. Fülöp and I. Tsutsui, "Symmetry, Duality and Anholonomy of Point Interactions in One Dimension", *Ann. Phys.* **294** (2001) 1–23.

[4] I. Tsutsui, T. Fülöp and T. Cheon, "Möbius Structure of the Spectral Space of Schrödinger Operators with Point Interaction", *Journ. Math. Phys.* **42** (2001) 5687–5697.

[5] H. Miyazaki and I. Tsutsui, "Quantum Tunneling and Caustics under Inverse Square Potential", *Ann. Phys.* **299** (2002) 78–87.

[6] K. Fujikawa, "Remarks on Shannon's statistcal inference and the second law in quantum statistical mechanics", *Jour. of Phys. Soc. of Jpn* **71** (2002) 67-74.

[7] K. Fujikawa and M. Ishibashi, " Lattice chiral symmetry and the Wess-Zumino model", *Nucl. Phys.* **B 622** (2002) 115-140.

[8] K. Fujikawa and M. Ishibashi, "Lattice chiral symmetry, Yukawa couplings and the Majorana condition", *Phys. Lett.* **B528** (2002) 295-300.

[9] K. Fujikawa and M. Ishibashi, "A perturbative study of general class of lattice Dirac operators", *Phys, Rev.* **D65** (2002) 114504.

[10] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki, "Ginsparg-Wilson operators and a no-go theorem", *Phys. Lett.***B538** (2002) 197-201.

[11] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki, "CP breaking in lattice chiral gauge theories", *JHEP* **0204**(2002)046.

[12] K. Fujikawa, "Supersymmetry on the lattice and the Leibniz rule", *Nucl. Phys.* **B636**(2002) 80-98.

[13] K. Fujikawa, "N=2 Wess-Zumino model on the d=2 Euclidean lattice", *Phys. Rev.* **D66** (2002) 074510.

[14] T. Fülöp, T. Cheon and I. Tsutsui, "Classical Aspects of Quantum Walls in One Dimension", *Phys. Rev.* **A66** (2002) 052102–052112.

[15] I. Tsutsui, T. Cheon and T. Fülöp, "Connection Conditions and the Spectral Family under Singular Potentials", *J. Phys. A*: Math. Gen. **36** (2003) 275–283.

[16] T. Uchino and I. Tsutsui, "Supersymmetric Quantum Mechanics with a Point Singularity", *Nucl. Phys.* **B662** (2003) 447–460.

[17] K. Fujikawa and H. Suzuki, "Domain wall fermion and CP symmetry breaking", *Phys.Rev.* **D67** (2003) 034506.

[18] K. Fujikawa and P. van Nieuwenhuizen, "Topological anomalies from the path integral measure in superspace", *Ann. of Phys.* **308** (2003) 78-114.

[19] K. Fujikawa and H. Suzuki, "Anomalies, local counter terms and bosonization", *Phys.Rept.* **398** (2004) 221-243.

[20] K. Fujikawa, A. Rebhan and P. van Nieuwenhuizen, "On the nature of the anomalies in the supersymmetric kink", *Int.J.Mod.Phys.* **A18** (2003) 5637.

[21] T. Uchino and I. Tsutsui, "Supersymmetric Quantum Mechanics under Point Singularities", *J. Phys. A*: Math. Gen. **36** (2003) 6821–6846.

[22] Y. Abe, R. Banerjee and I. Tsutsui, "Duality Symmetry and Plane Waves in Non- Commutative Electrodynamics", *Phys. Lett.* **B573** (2003) 248–254.

[23] T. Fülöp, T. Cheon and I. Tsutsui, "Spectral Properties on a Circle with a Singularity", *J. Phys. Soc. Jpn.* **72** (2003) 2737–2746.

[24] T. Fülöp, H. Miyazaki and I. Tsutsui, "Quantum Force due to Distinct Boundary Conditions", *Mod. Phys. Lett.* **A40** (2003) 2863–2871.

[25] I. Tsutsui, "Physical Aspects of Singularities in Quantum Mechanics', *J. Phys. Soc. Jpn.*, Supplement C **72** (2003) 62–65.

[26] I. Tsutsui and T. Fülöp, "Physics of Singular Points in Quantum Mechanics", *Int. Journ. Quant. Inf.* **1** (2003) 543–560.

B9

[27] K. Fujikawa and R. Shrock, "On a neutrino electroweak radius", *Phys. Rev.* **D69** (2004) 013007.

[28] K. Fujikawa, "Path integral for space-time noncommutative field theory", *Phys. Rev.* **D70** (2004) 085006.

[29] K. Fujikawa, "Remark on natural models of neutrinos", *Prog. Theor. Phys.***113**(2005) 1065.

[30] T. Cheon , I. Tsutsui and T. Fülöp, "Quantum abacus', *Phys. Lett.* **A330** (2004) 338–342.

[31] K. Fujikawa, "Topological properties of Berry's phase", *Mod. Phys. Lett.* **A20** (2005) 335-344.

[32] S. Deguchi and K. Fujikawa, "Second quantized formulation of geometric phases", *Phys. Rev.* **A72** (2005) 012111.

[33] K. Fujikawa, "Geometric phases and hidden local gauge symmetry", *Phys. Rev.***D72** (2005) 025009.

[34] L. Fehér, I. Tsutsui and T. Fülöp, "Inequivalent Quantizations of the Three-Particle Calogero Model constructed by Separation of Variables", *Nucl. Phys.* **B715** (2005) 713–757.

[35] T. Cheon and I. Tsutsui, "Classical and Quantum Contents of Solvable Game Theory on Hilbert Space', *Phys. Lett.* **A348** (2006) 147–152.

[36] N. Yonezawa and I. Tsutsui, "Inequivalent Quantizations of the $N = 3$ Calogero model with Scale and Mirror-S_3 Symmetry', *Journ. Math. Phys.* **47** (2006) 012104-(1-18).

[37] K. Fujikawa, "Quantum anomaly and geometric phase: Their basic differences", *Phys.Rev.* **D73** (2006) 025017.

[38] K. Fujikawa, "Geometric phases, gauge symmetries and ray representation", *Int. J. Mod. Phys.* **A21** (2006) 5333.

[39] K. Fujikawa, "Geometric phases for mixed states and decoherence", *Ann. Phys.* (in press).

[40] T. Cheon and I. Tsutsui, "Classical and Quantum Contents of Solvable Game Theory on Hilbert Space", *Phys. Lett.* **A348** (2006) 147.

[41] M. Yonezawa and I. Tsutsui, "Inequivalent Quantization of the N=3 Calogero model with Scale and Mirror Symmetry", *J. Math. Phys.* **47** (2006) 012104.

[42] T. Ichikawa and I. Tsutsui, "Duality, Phase Structures and Dilemmas in Symmetric Quantum Games", *Ann. Phys.* **322** (2006) 531.

国際会議招待講演

[1] Kazuo Fujikawa, "Closing Remarks", 10th Tohwa International Symposium on String Theory, 2001 年 7 月 3-7 日.

[2] Kazuo Fujikawa, "Generalized Ginsparg-Wilson algebra and index theorem on the lattice", Lattice Statistics and Mathematical Physics, APCTP-Nankai Joint Seminar, 2001 年 10 月 8-11 日.

[3] Kazuo Fujikawa, "Generalized Ginsparg-Wilson algebra and the notion of index on the lattice", Karuizawa Seminar on Recent Development in Physics and Related Mathematics, 2001 年 10 月 15-16 日.

[4] Kazuo Fujikawa, "Spin-statistics theorem in path integral formulation", Sapporo Winter School 2002, 2002 年 1 月 9-11 日.

[5] Kazuo Fujikawa, "Lattice chiral symmetry, CP invariance and Majorana fermions"Name of Lecture", International Conference in Theoretical Physics in Paris, TH2002, 2002 年 7 月 22-27 日.

[6] Izumi Tsutsui, "Physical Aspects of a Quantum Singularity", O′ Raifeartaigh Memorial Conference, 2002 年 9 月 27 日.

[7] Kazuo Fujikawa, "Lattice chiral symmetry and related topics", Sapporo Winter School 2003, Furano, 2003 年 1 月 9-11 日.

[8] Izumi Tsutsui, "Physics of Points and Walls in Quantum Mechanics", Non-locality in Quantum Mechanics and Statistical Inference, 2003 年 9 月 9 日.

[9] Kazuo Fujikawa, " Anomalies, local counter terms and path integral bosonization", Sapporo Winter School 2004, Niseko, 2004 年 1 月 9-11 日.

[10] Izumi Tsutsui, "Quantum Singularity", Universiti Putra Malaysia TSL Expository Lecture, 2004 年 7 月 2 日.

[11] Kazuo Fujikawa, "Quantization of non-commutative field theory", Summer Institute 2004, Fuji-Yoshida, 2004 年 8 月 12-19 日.

[12] Kazuo Fujikawa, "Topological properties of Berry's phase", Sapporo Winter School 2005, Niseko, 2005 年 1 月 7-12 日.

[13] Kazuo Fujikawa, "Topological properties of goemetric phases", Frontiers in Quantum Physics, YITP, 2005 年 2 月 17-19 日.

[14] Kazuo Fujikawa, "Gauge symmetries in geometric phases", Summer Institute 2005, Fuji-Yoshida, 2005 年 8 月 11-18 日.

[15] Kazuo Fujikawa, " Chiral symmetry and the representation of general Ginsparg-Wilson algebra"Name of Lecture", 2005 Taipei Summer Institute on Strings, Particles and Fields, Taipei, 2005 年 9 月 12-16 日.

[16] Izumi Tsutsui, “Quantum Game Theory”, Conference on Advances in Theoretical Sciences CATS 2005, 2005 年 12 月 6 日.

[17] Izumi Tsutsui, “Singularity in Quantum Mechanics and the Calogero Model”, O’Raifeartaigh Symposium on Non-perturbative and Symmetry Methods in Feild Theory, Budapest, Hungary, 2006 年 6 月 22-24 日.

[18] Kazuo Fujikawa, ”Unitarity issue in space-time non-commutative theory”, International Workshop on Non-commutativity in Strings, Gravity and Field Theory, Tokyo Metropolitan University, 2006 年 11 月 16-18 日.

国内会議招待講演

[1] 藤川和男, 「Lattice chiral symmetry, CP symmetry and Majorana fermions」, KEK 研究会「超弦理論のダイナミクス」, 2003 年 3 月 18-22 日.

[2] 藤川和男,「Gauge Theory: Its Origin, Developments and Future’Lattice chiral symmetry, CP symmetry and Majorana fermions」, 基礎物理学研究所「場の理論」研究会, 2003 年 12 月 24-26 日.

[3] 筒井　泉, 「Quantum Singularity and $N = 3$ Calogero Model」, KEK 理論研究会 2005, 2005 年 3 月 16 日.

[4] 藤川和男,「量子異常とはなんだろうか？」,「特異点と時空、および関連する物理」研究会 (日本大学理工学部), 2006 年 1 月 7-9 日.

[5] 藤川和男,「非断熱位相と量子力学における重ね合わせの原理」, 量子論の諸問題と今後の発展 (KEK), 2006 年 3 月 10-11 日.

[6] 藤川和男,「50 years of Utiyama’s paper」, 場の量子論の基礎的諸問題と応用 (京大基研), 2006 年 12 月 14 日-16 日.

学会発表

[1] 藤川和男, 「Spin-statistics theorem in path integral formulation」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 22-25 日.

[2] 藤川和男, 「 Remarks on Shannon’s statistical inference and the second law in quantum statistical mechanics」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24-27 日.

[3] 筒井　泉, 全　卓樹, 「量子点状相互作用の数理」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[4] 宮崎　倫, 筒井　泉, 「逆 2 乗型ポテンシャルを持つ調和振動子における量子効果による caustic の破れ」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[5] 内野　貴, 筒井　泉,「線上の特異量子系と超対称性」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[6] T. Fülöp, 筒井　泉, 全　卓樹, 「The Physical Role of Boundary Conditions in Quantum Mechanics」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[7] 安部保海、R. Banerjee, 筒井　泉, 「非可換電磁気学における双対対称性と平面波解について」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[8] 市川 翼, 筒井　泉, 「量子ゲームにおけるゲーム分類の新しい方法の提案」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 3 月 22 日.

[9] 市川 翼, 全　卓樹, 筒井　泉,「量子ゲームにおける定式化と相構造の問題について」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 29 日.

[10] 筒井　泉,「量子ゲームにおける定式化と相構造の問題について II」, 日本物理学会 2006 年秋期大会, 2006 年 9 月 25 日.

[11] 筒井　泉,「Quantum boundary conditions and particle bound states」, 日米合同物理学会: The Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Communities , 2006 年 11 月 1 日.

ホームページの公開

[1] http://aries.phys.cst.nihon-u.ac.jp/ fuji-3/

[2] http://research.kek.jp/people/itsutsui/

計画班: B10

研究課題名: 有限時空系の場の量子論と量子系のダイナミクス

研究代表者:	大場 一郎	早稲田大学・教授
	中里 弘道	早稲田大学・教授
	山中 由也	早稲田大学・教授
	中村 博樹	早稲田大学・助手 (H14 ~ 16 年度)
	湯浅 一哉	早稲田大学・講師 (H13 ~ 17 年度)
	森田 健司	早稲田大学・助手 (H13 ~ 15 年度)
	宮本 学	早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
	奥村 雅彦	早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
	太田 幸宏	早稲田大学・助手 (H16 ~ 18 年度)
	峰 真如	早稲田大学・助手 (H18 年度)

重要な成果

量子情報処理に不可欠な量子ビット間の相関について、ゼノン型観測によって量子系の純化、量子絡み合いの抽出などが可能となることを示した。また、BEC の励起状態を取り扱う場の量子論をゼロ・モードセクターや複素固有値セクターまで含めて無矛盾に構成し、有限時空における場の理論の一つの典型を与えた.

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

量子ゼノン効果を環境自由度を考慮して再吟味し，対象系に頻繁な観測を施すことで環境系が “純化” される現象 (ゼノン型観測による状態純化) を発見した. また, 高エネルギー重イオン衝突実験で有限時空領域に生成されたハドロン物質の大きさを HBT 効果で評価した．

平成 14 年度:

中性原子 Bose–Einstein 凝縮に関し, 空間並進対称性の破れた実験状況を考慮し, 適切な基底状態の特定と非凝縮相を取り扱うための場の理論的手法を開発し, この系における Goldstone モードの重要性を明らかにした. また, 散逸系カオスを確率状態拡散法に基づいて量子化，量子–古典対応を議論するとともに，量子散逸系における半古典近似の開発を試みた．

平成 15 年度:

並進対称性が破れた Bose–Einstein 凝縮系で Goldstone モードを扱う 2 つの方法の間の関係を明らかにした．また, ゼノン型観測による状態純化法の応用として，エンタングルメント抽出や量子ビットの初期化の可能性を示した．さらに, 高エネルギー重イオン衝突実験で有限時空領域に生成されたハドロン物質の大きさを HBT 効果で評価した．特に不透明粒子源の効果を詳細に解析した．

平成 16 年度:

Kane が提案した半導体量子コンピュータに関し，時間に陽に依存した Schrödinger 方程式を可能な限り厳密に解いた結果に基づいて，これまでに提案されていた量子演算の構成法では，演算エラーが避けられないことを明らかにした．また, 高エネルギー重イオン衝突実験によって有限時空領域に生成されたハドロン物質に関し，2 体のみならず 3 体の相関に着目し，ハドロン物質の熱平衡達成度を評価した．

平成 17 年度:

“積分核” を導入した Langevin 方程式に基づいて新しい短時間スケーリング則を導出し，臨界点近傍における系の情報を効率良く抽出できる可能性を明らかにした．また, 不安定多準位系の束縛状態が現れる機構を Friedrichs モデルに基づいて調べた. また, 並進対称性が破れた Bose–Einstein 凝縮系に関する Goldstone モードを考慮した枠組みの自己無撞着性を調べ, 特に Ward–Takahashi 恒等式を保持していること, 非同値真空が実現していることを確かめた.

平成 18 年度:

初期相関が存在する状況での弱結合極限によるマスター方程式の導出法を数学的に整備し, 量子開放系のダイナミクスにおける初期相関の物理的な役割・効果を調べた. また, 並進対称性が破れた Bose-Einstein 凝縮系の外部擾乱に対する応答へのゼロ・モードの効果を有限温度下で評価する枠組みを提案し, 数値計算によってその効果を調べた. また Lindblad 型マスター方程式における Kraus 表示の解の導出法を明らかにした.

査読付国際誌への掲載

[1] T. Kudo, *I. Ohba and H. Nitta, "A Derivation of the Dirac Equation in an External Field Based on the Poisson Process", Physics Letters A **286** (July, 2001) 227–230.

[2] T. Hirano, K. Morita, S. Muroya and C. Nonaka, "Hydrodynamical Analysis of Hadronic Spectra in the 130 GeV/nucleon Au + Au Collisions", Physical Review C **65** (June, 2002) 061902(R) (5 pages).

[3] I. Ohba, "Some Stochastic Aspects of Quantization", Pramana-Journal of Physics **59** (August, 2002) 397–404.

[4] K. Hara and I. Ohba, "Tunneling Time Distribution by Means of Nelson's Quantum Mechanics and Wave-Particle Duality", Pramana-Journal of Physics **59** (August, 2002) 405–408.

[5] Y. Ota and I. Ohba, "The Crossover from Classical to Quantum Behavior in Duffing Oscillator Based on Quantum State Diffusion", Pramana-Journal of Physics **59** (August, 2002) 409–412.

[6] T. Kudo and I. Ohba, "Derivation of Relativistic Wave Equation from the Poisson Process", Pramana-Journal of Physics **59** (August, 2002) 413–416.

[7] H. Nakamura and R. Seki, "Negative Binomial Multiplicity Distribution and Interferometry Based on a Generating Functional Method", Physical Review C **66** (August, 2002) 024902 (10 pages).

[8] H. Nakamura and R. Seki, "Coherent and Chaotic Generation of Pions from Relativistic Heavy-Ion Collisions", Physical Review C **66** (August, 2002) 027901 (4 pages).

[9] G. Kimura, K. Yuasa and K. Imafuku, "Bifurcation Phenomenon in Spin Relaxation", Physical Review Letters **89** (September, 2002) 140403 (4 pages).

[10] H. Nakamura and R. Seki, "Quasi-elastic neutrino-nucleus scattering and spectral function", Nuclear Physics B Proceedings Supplements **112** (November, 2002) 197–202.

[11] *K. Yuasa, A. Shimoi, I. Ohba and C. Oshima, "Modified Fowler-Nordheim Field Emission Formulae from a Nonplanar Emitter Model", Surface Science **520** (November, 2002) 18–28.

[12] K. Morita, S. Muroya, C. Nonaka and T. Hirano, "Comparison of Space-Time Evolutions of Hot, Dense Matter in $\sqrt{s}_{NN} = 17$ and 130 GeV Relativistic Heavy Ion Collisions Based on a Hydrodynamical Model", Physical Review C **66** (November, 2002) 054904 (10 pages).

[13] H. Nakazato, T. Takazawa and K. Yuasa, "Purification through Zeno-Like Measurements", Physical Review Letters **90** (February, 2003) 060401 (4 pages).

[14] H. Nakazato, "To Decay or Not to Decay? Temporal Behavior of a Quantum System", in "Fundamental Aspects of Quantum Physics" (World Scientific, Singapore, 2003), pp. 267–283.

[15] K. Hara and I. Ohba, "Tunneling Time Distribution by Means of Nelson's Quantum Mechanics and Wave-Particle Duality", Physical Review A **67** (May, 2003) 052105 (6 pages).

[16] T. Hirano, K. Morita, S. Muroya and C. Nonaka, "Analysis of One- and Two-Particle Spectra at RHIC Based on a Hydrodynamical Model", Pramana-Journal of Physics **60** (May, 2003) 1103–1106.

[17] P. Facchi, Y. Nakaguro, H. Nakazato, S. Pascazio, M. Unoki and K. Yuasa, "Optimization of a Neutron-Spin Test of the Quantum Zeno Effect", Physical Review A **68** (July, 2003) 012107 (8 pages).

[18] M. Okumura and Y. Yamanaka, "Proper Treatment of Zero Mode in Quantum Field Theory for Trapped Bose-Einstein Condensation", Physical Review A **68** (July, 2003) 013609 (12 pages).

[19] K. Yuasa, H. Nakazato and T. Takazawa, "Purification of Quantum State through Zeno-like Measurements", Journal of the Physical Society of Japan **72** Supplement C (December, 2003) 34–37.

[20] Y. Ota and I. Ohba, "Crossover from Classical to Quantum Behavior in Duffing Oscillator through 'Pseudo-Lyapunov Exponent'", Journal of the Physical Society of Japan **72** Supplement C (December, 2003) 119–123.

[21] Y. Yamanaka, M. Okumura and M. Mine, "Role of Nambu-Goldstone Mode in Trapped Bose-Einstein Condensation", Journal of the Physical Society of Japan **72** Supplement C (December, 2003) 152–155.

[22] K. Morita and S. Muroya, "Transverse Momentum Dependence of Hanbury Brown-Twiss Radii of Pions from a Perfect Opaque Source with Hydrodynamic Flow", Progress of Theoretical Physics **111** (January, 2004) 93–103.

[23] M. Okumura and Y. Yamanaka, "Effects of Quantum Coordinate on Condensate Density in a Trapped Bose-Einstein Condensate", Progress of Theoretical Physics **111** (February, 2004) 199–211.

[24] K. Yuasa, H. Nakazato and M. Unoki, "Entanglement Purification through Zeno-like Measurements", Journal of Modern Optics **51** (April, 2004) 1005–1010.

[25] Y. Ota and I. Ohba, "Crossover from Classical to Quantum Behaviour of Duffing Oscillator through Pseudo-Lyapunov Exponent", Journal of Modern Optics **51** (April, 2004) 1099.

[26] M. Okumura and Y. Yamanaka, "Nambu-Goldstone Mode in Trapped Bose-Einstein Condensation", Journal of Modern Optics **51** (April, 2004) 1101.

[27] T. Koide, M. Mine, M. Okumura and Y. Yamanaka, "Response of Trapped Bose-Einstein Condensates under Time-Dependent Perturbation", Journal of Modern Optics **51** (April, 2004) 1103–1104.

[28] M. Miyamoto, "Initial Wave Packets and the Various Power-Law Decreases of Scattered Wave Packets at Long Times", Physical Review A **69** (April, 2004) 042704 (4 pages).

[29] H. Nakazato, M. Unoki and K. Yuasa, "Preparation and Entanglement Purification of Qubits through Zeno-like Measurements", Physical Review A **70** (July, 2004) 012303 (12 pages).

[30] M. Miyamoto, "Initial State Maximizing the Nonexponentially Decaying Survival Probability for Unstable Multilevel Systems", Physical Review A **70** (September, 2004) 032108 (5 pages).

[31] G. Compagno, A. Messina, H. Nakazato, A. Napoli, M. Unoki and K. Yuasa, "Distillation of Entanglement between Distant Systems by Repeated Measurements on an Entanglement Mediator", Physical Review A **70** (November, 2004) 052316 (10 pages).

[32] T. Kudo and I. Ohba, "Derivation of the Photon Wave Equation in a Medium via a Poisson Process", Progress of Theoretical Physics **112** (December, 2004) 763–772.

[33] Y. Ota and I. Ohba, "Crossover from Classical to Quantum Behavior of the Duffing Oscillator through a Pseudo-Lyapunov Exponent", Physical Review E **71** (January, 2005) 015201(R) (4 pages).

[34] H. Nakamura, R. Seki and M. Sakuda, "Comparison of Electron-Nucleus Quasi-Elastic Cross Sections using Spectral Functions with (e, e') Data from 0.5 GeV to 1.5 GeV and Effects on Neutrino Quasi-Elastic Cross Sections", Nuclear Physics B Proceedings Supplement **139** (February, 2005) 201–207.

[35] P. Facchi, S. Tasaki, S. Pascazio, H. Nakazato, A. Tokuse and D.A. Lidar, "Control of Decoherence: Analysis and Comparison of Three Different Strategies", Physical Review A **71** (February, 2005) 022302 (22 pages).

[36] B. Militello, H. Nakazato and A. Messina , "Steering Distillation Processes through Quantum Zeno Dynamics", Physical Review A **71** (March, 2005) 032102 (7 pages).

[37] *M. Okumura and Y. Yamanaka, "Ward-Takahashi Relation at Finite Temperature in Bose-Einstein Condensation of Trapped Neutral Atoms", Physica A **348** (March, 2005) 157–172.

[38] M. Mine, M. Okumura and Y. Yamanaka, "Relation between Generalized Bogoliubov and Bogoliubov-de Gennes Approaches including Nambu-Goldstone Mode", Journal of Mathematical Physics **46** (April, 2005) 042307 (18 pages).

[39] M. Miyamoto, "Initial States and the Various Long-Time-Behaviors of the Unstable Multilevel Systems", Brazilian Journal of Physics **35** (June, 2005) 425–431.

[40] B. Militello, A. Messina and H. Nakazato, "Governing Survival Probability to Distill Quantum States", Optics and Spectroscopy **99** (September, 2005) 438–442.

[41] K. Yuasa and H. Nakazato, "A Simple Scheme to Entangle Distant Qubits from a Mixed State via an Entanglement Mediator", Progress of Theoretical Physics **114** (September, 2005) 523–531.

[42] *K. Yoh, K. Yuasa and H. Nakazato, "Quantum entanglement formation by repeated spin blockade measurements in a spin field-effect transistor structure embedded with quantum dots", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures **29** (November, 2005) 674–678.

[43] M. Miyamoto, "Bound-state eigenenergy outside and inside the continuum for unstable multilevel systems", Physical Review A **72** (December, 2005) 063405 (9 pages).

[44] K. Yuasa and H. Nakazato, "Preparation of Quantum State through Zeno-like Measurements", Journal of Physics: Conference Series **31** (January, 2006) 183–184.

[45] M. Mine, T. Koide, M. Okumura and Y. Yamanaka, "Effect of Zero-Mode on the Response of Trapped Bose-Condensates", Journal of Physics: Conference Series **31** (January, 2006) 211–212.

[46] Y. Ota, S. Mikami and I. Ohba, "Potential errors in a scheme of universal quantum gates in Kane's model", Physical Review A **73** (March, 2006) 032321 (10 pages).

[47] H. Nakazato, M. Unoki and K. Yuasa, "A Purification Scheme and Entanglement Distillations", in "Quantum Information and Computing, Vol.19 of QP-PQ: Quantum Probability and White Noise Analysis" (World Scientific, Singapore, 2006), pp. 259–273.

[48] M. Mine, T. Koide, M. Okumura and Y. Yamanaka, "Effect of the Zero-Mode on the Response of a Trapped Bose-Condensed Gas", Progress of Theoretical Physics **115** (April, 2006) 683–700.

[49] P. Facchi, H. Nakazato, S. Pascazio and S. Tasaki, "Control of Decoherence via Quantum Zeno Subspace", International Journal of Modern Physics B **20** (May, 2006) 1408–1420.

[50] *M. Okumura and Y. Yamanaka, "Unitarily Inequivalent Vacua in Bose-Einstein Condensation of Trapped Gases", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications **365** (June, 2006) 429–445.

[51] *H. Enomoto, M. Okumura and Y. Yamanaka, "Goldstone Theorem, Hugenholtz-Pines Theorem, and Ward-Takahashi Relation in Finite Volume Bose-Einstein Condensed Gases", Annals of Physics **321** (August, 2006) 1892–1917.

[52] M. Miyamoto, "Zero Energy Resonance and the Logarithmically Slow Decay of Unstable Multilevel Systems", Journal of Mathematical Physics **47** (August, 2006) 082103 (35 pages).

B10

[53] M. Miyamoto, "Long Time Behaviour of Unstable Multilevel Systems in Presence of Zero Energy Resonance", Open Systems and Information Dynamics **13** (September, 2006) 291–300.

[54] R. Migliore, K. Yuasa, H. Nakazato and A. Messina, "Generation of Multipartite Entangled States in Josephson Architectures", Physical Review B **74** (September, 2006) 104503 (9 pages).

[55] H. Nakazato, Y. Hida, K. Yuasa, B. Militello, A. Napoli and A. Messina, "Solution of the Lindblad Equation in the Kraus Representation", Physical Review A **74** (December, 2006) 062113 (8 pages).

[56] K. Yuasa, H. Nakazato, "Resonant Scattering Can Enhance the Degree of Entanglement", Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical **40** (January, 2007) 297-308.

[57] K. Yuasa, K. Okano, H. Nakazato, S. Kashiwada and K. Yoh, "State Tomography of Layered Qubits via Spin Blockade Measurements on the Edge Qubit in a Spin Field-Effect Transistor Strucrure Embedded with Quantum Dots", American Institute of Physics Conference Proceedings **893** (March 2007) 1109–1110.

[58] S. Tasaki, *K. Yuasa, P. Facchi, G. Kimura, H. Nakazato, I. Ohba and S. Pascazio, "On the Assumption of Initial Factorization in the Master Equation for Weakly Coupled Systems I: General Framework", Annals of Physics **322** (March 2007) 631–656.

[59] *K. Yuasa, S. Tasaki, P. Facchi, G. Kimura, H. Nakazato, I. Ohba and S. Pascazio, "On the Assumption of Initial Factorization in the Master Equation for Weakly Coupled Systems II: Solvable Models", Annals of Physics **322** (March 2007) 657–676.

国際会議招待講演

[1] M. Okumura, "Derivation of Quantum Boltzmann Equation for Trapped Neutral Atomic Gases", 2nd International Conference on Current Developments in Atomic, Molecular and Optical Physics with Application, Delhi University, Delhi, India, 2006 年 3 月 22 日.

[2] K. Morita, “Hydrodynamical analysis of HBT correlations at RHIC energy”, Symposium and Workshop on the Quark–Gluon Plasma and Heavy-Ion Physics at RHIC and LHC, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2003 年 7 月 25 日.

[3] H. Nakazato, “Purification and Entanglement Distillation”, International Conference of Quantum Information 2003, Tokyo University of Science, Tokyo, Japan, 2003 年 11 月 3 日.

[4] H. Nakazato, “A Purificaion Scheme and Entanglement Distillation”, International Conference of Quantum Information 2003, Waseda University, Tokyo, Japan, 2003 年 10 月 30 日.

[5] I. Ohba, “Classical vs. Quantum Behabior in Duffing Oscillator”, International Conference of Quantum Information 2003, Waseda University, Tokyo, Japan, 2003 年 10 月 31 日.

[6] I. Ohba, “Some Stochastic Aspects of Quantization”, 2nd Winter Institute on Foundations of Quantum Theory and Quantum Optics: Quantum Information Process, S N Bose National Center of Basic Science, Kolkata, India, 2002 年 1 月 7 日.

国内会議招待講演

[1] 奥村雅彦, 「場の量子論・熱場の量子論からみた中性原子気体 Bose–Eisntein 凝縮およびその巨視的波動関数」, YITP Workshop 熱場の量子論とその応用, 京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 8 月 25 日.

[2] 大場一郎, 「Quantization of Open Systems and the Quantum-Classical Transition」, YITP Workshop 量子系およびマクロ系におけるカオスと非線形動力学, 京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 12 月 8 日.

[3] 大場一郎, 「Quantization of Open Quantum System Based on Quantum State Diffusion II」, YITP Workshop 量子力学とカオス：基礎的問題からナノサイエンスまで, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 11 月 12 日.

[4] 湯浅一哉, 「3 次元針モデルによる電界電子放出理論」, 早稲田大学材料技術研究所オープンセミナー　電子放出の物理と次世代電子ビームの開発, 早稲田大学材料技術研究所, 2002 年 11 月 12 日.

[5] 大場一郎, 「開いた系の quantum state diffusion 法による量子化」, YITP Workshop 量子カオス: 理論と実験の現状, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 9 月 9 日.

[6] 山中由也, 「Nonequilibrium TFD」, YITP Workshop 熱場の量子論とその応用, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 8 月 7 日.

学会発表

[1] 田中篤司, 宮本学, 「全の anholonomy を用いた断熱量子計算」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 19 日.

[2] 宮本学, 田中篤司, 「量子写像系における全の anholonomy」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 19 日.

[3] 太田幸宏, 吉田統之, 大場一郎, 「Dür-Cirac 法と局所変換によるエンタングルメントの減少」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 19 日.

[4] 肥田雄一郎, 中里弘道, 湯浅一哉, B. Militello, A. Napoli, A. Messina, 「マスター方程式を演算子形式で解く方法」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 18 日.

[5] 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「複素モードの存在する中性原子ボース凝縮系に対する 2 つの「ハミルトニアン対角化法」の比較」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 18 日.

[6] 奥村雅彦, 山中由也,「場の理論における Khon の定理」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 18 日.

[7] 肥田雄一郎, 湯浅一哉, 中里弘道,「媒介系を用いたエンタングルメント生成におけるデコヒーレンスの影響」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 25 日.

[8] 太田幸宏, 三神秀嗣, 大場一郎,「エンタングルメント生成による量子演算の分類」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 25 日.

[9] 宮本学, 橋本祥典,「有限温度下における不安定量子系の非指数崩壊」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 24 日.

[10] 田中篤司, 宮本学,「Rzazewski-Mostowski 写像の多準位への拡張」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 24 日.

[11] 須永知夏, 福山絵里子, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「高次量子渦のあるトラップされた Bose-Einstein 凝縮における複素モードの存在条件」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月 23 日.

B10

[12] 湯浅一哉, 田崎秀一, 中里弘道, 大場一郎, 木村元, P. Facchi, S. Pascazio,「射影演算子法によるマスター方程式の導出と初期相関」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[13] 宮本学, 田中篤司,「Rzazewski-Mostowski 写像の spectrum 解析 (2)」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[14] 三神秀嗣, 太田幸宏, 大場一郎,「熱平衡状態からユニタリー変換によるエンタングル状態達成可能のパラメーター領域の再評価」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 29 日.

[15] 藤島浩史, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「時間依存 Gross-Pitaevskii 方程式によるポテンシャル散乱問題における多体効果 2」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[16] 小林恵太, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「光学格子中 Bose-Einstein　凝縮の複素固有値を含むハミルトニアンの「対角化」」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[17] 岡野康介, 湯浅一哉, 中里弘道, 陽完治,「端点 1 量子ビットの測定による多量子ビット系の状態推定」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 22 日.

[18] 宮本学,「不安定量子系におけるゼロエネルギー共鳴とレゾルヴェントの漸近展開 (2)」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 22 日.

[19] 田中篤司, 宮本学, 酒井道宏,「Rzazewski-Mostowski 写像の spectrum 解析 (1)」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 22 日.

[20] 太田幸宏, 三神秀嗣, 大場一郎,「Kane モデルでの瞬間的パラメーター制御によるゲート演算スキームにおけるエラーの可能性」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 22 日.

[21] 乙部毅, 服部望, 湯浅一哉, 中里弘道, 岡野啓介,「積分核を含む Langevin 方程式に基づいた短時間スケーリング則による臨界指数の評価」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 21 日.

[22] 服部望, 乙部毅, 湯浅一哉, 中里弘道, 岡野啓介,「積分核を含む Langevin 方程式に基づく臨界緩和過程の短時間スケーリング則」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 21 日.

[23] 峰真如, 奥村雅彦, 須永知夏, 山中由也,「複素エネルギーモードがある場合の Bogoliubov-de Gennes の方法と準粒子描像」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 19 日.

[24] 陽完治, 柏田沙織, 湯浅一哉, 中里弘道,「量子ドット積層 HEMT 構造でのスピンブロッケード測定による量子もつれ状態の検証方法」, 第 66 回 応用物理学会学術講演会, 2005 年 9 月 7 日.

[25] 陽完治, フェルハットマルフン, 湯浅一哉, 中里弘道,「量子ドット積層 HEMT 構造でのスピンブロッケード測定による量子もつれ状態の形成」, 第 52 回 応用物理学関係連合講演会, 2005 年 3 月 29 日.

[26] 湯浅一哉, 中里弘道,「離れた量子ビット間にエンタングル状態を効率良く抽出する方法」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[27] 宮本学,「不安定量子系におけるゼロエネルギー共鳴とレゾルヴェントの漸近展開」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[28] 藤嶋浩史, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「時間依存 Gross-Pitaevskii 方程式によるポテンシャル散乱問題における多体効果」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[29] 須永知夏, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「量子渦をもつトラップされたボース凝縮体のゼロモードを含む場の量子論による定式化」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[30] 奥村雅彦, 山中由也,「トラップされた中性原子気体系における一般化された Boltzmann 方程式について」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[31] 榎本紘明, 奥村雅彦, 山中由也,「一様 Bose 気体系における Hugenholtz-Pines 定理と Ward-Takahashi 恒等式の関係」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[32] 岡野康介, 鵜木誠, 湯浅一哉, 中里弘道, 陽完治,「ゼノン型観測による量子状態純化における観測エラーの影響」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 15 日.

[33] 三神秀嗣, 太田幸弘, 大場一郎,「シリコン・ベース核スピン量子コンピュータにおける量子演算の実現可能性 II」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 15 日.

[34] 宮本学,「Multilevel Friedrichs モデルの束縛状態の解析」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 14 日.

[35] 原田潤一, 宮本学,「不安定量子系における指数崩壊から非指数崩壊への遷移」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 14 日.

[36] 奥村雅彦, 山中由也,「トラップされた中性原子気体における 2 ループレベル自己エネルギー項の繰り込みについて」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 12 日.

[37] 峰真如, 小出知威, 奥村雅彦, 山中由也,「トラップされた中性原子ボース凝縮体の外場に対する応答におけるゼロ・モードの効果」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 12 日.

[38] 太田幸宏, 大場一郎,「シリコン・ベース核スピン量子コンピュータにおける量子演算の実現可能性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[39] 守屋倫子, 森田健司,「流体模型による二粒子相関関数のラピディティー依存性の解析」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 29 日.

[40] 森田健司, 室谷心, 中村博樹,「部分的多重コヒーレントソース模型による RHIC における 3 粒子相関の解析 II」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 29 日.

[41] 鵜木誠, 湯浅一哉, 中里弘道,「ゼノン型観測による量子状態の純粋化における測定時間間隔の揺らぎの影響」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 28 日.

[42] 中里弘道, 湯浅一哉, 鵜木誠,「ゼノン型観測によるエンタングル状態の抽出」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 23 日.

[43] 工藤知草, 大場一郎,「ダイポールをもつ中性粒子と結合する電磁場の双対性」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 20 日.

[44] 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「Bogoliubov-de Gennes Approach と Generalized Bogoliubov Approach のゼロ・モードを含めた同等性について」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 20 日.

[45] 森田健司, 室谷心, 中村博樹,「部分的多重コヒーレントソース模型による RHIC における 3 粒子相関の解析」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 11 日.

[46] 湯浅一哉, 中里弘道, 鵜木誠,「ゼノン型観測による量子状態の純粋化」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[47] 工藤知草, 大場一郎,「外部カレントを含む Schwarz-Sen action の Local Duality 不変性」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[48] 森田健司, 室谷心,「流体表面からの粒子放出による 2 粒子相関」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[49] 小出知威, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「中性原子気体のボース凝縮体における外部摂動に対する応答の評価」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[50] 奥村雅彦, 山中由也,「トラップされた Bose-Einstein 凝縮における自己エネルギー項の繰り込み条件について」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[51] 工藤知草, 大場一郎,「c-数ソースが存在する系での光子局在」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 16 日.

[52] 森田健司, 室谷心, 野中千穂, 平野哲文,「流体模型による RHIC と SPS における高エネルギー重イオン衝突の時空発展の比較」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 14 日.

[53] 小出知威, 峰真如, 奥村雅彦, 山中由也,「中性原子気体のボース凝縮体における外場に対する応答について」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 8 日.

[54] 鵜木誠, 中黒洋一, 湯浅一哉, 中里弘道,「量子ゼノン効果に及ぼす測定時間間隔の揺らぎの影響」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 6 日.

[55] 太田幸宏, 大場一郎,「Quantum State Diffusion の経路積分表示に関する考察」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 6 日.

[56] 中黒洋一, 鵜木誠, 湯浅一哉, 中里弘道, P. Facchi, S. Pascazio,「中性子スピンを用いた量子ゼノン効果検証実験における測定効率の影響」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 6 日.

[57] 太田幸宏, 大場一郎,「Quantum State Diffusion に基づくダフィン振動子の量子–古典対応 II」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[58] 奥村雅彦, 山中由也,「トラップされた Bose-Einstein 凝縮における真空の直交性について」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[59] 湯浅一哉, 中里弘道, 高沢智子,「環境の影響下における量子ゼノン効果」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[60] 工藤知草, 大場一郎,「ポアソン過程による分散性媒質中における光子波動方程式の導出」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[61] 原光一郎, 大場一郎,「ランダムサンプルパスを用いたトンネル時間の分布と波動・粒子の二重性」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[62] K. Morita, T. Hirano, S. Muroya and C. Nonaka, 「Hydrodynamical Analysis of 130 GeV/nucleon Au+Au Central Collisions at RHIC」, 第 1 回日米物理学会合同核物理分科会, 2001 年 10 月 18 日.

[63] 工藤知草, 大場一郎,「Dirac Monopole をもつ Maxwell 方程式の Poisson 過程による導出」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 20 日.

[64] 太田幸宏, 大場一郎,「Quantum State Diffusion に基づくダフィン振動子の量子–古典対応」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 20 日.

[65] 奥村雅彦, 山中由也,「トラップ中の Bose-Einstein 凝縮における南部-Goldstone モードの解析」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 18 日.

[66] 湯浅一哉, 下井歩, 大場一郎, 大島忠平,「3 次元金属針からの電界電子放出に対する解析的表式」, 第 62 回 応用物理学会学術講演会, 2001 年 9 月 13 日.

ホームページの公開

[1] http://www.hep.phys.waseda.ac.jp/

計画班: B11

研究課題名: 場の理論における Wilson くりこみ群と対称性の実現

研究代表者: 五十嵐 尤二 新潟大学・教授
伊藤 克美 新潟大学・助教授
宗 博人 新潟大学・助教授

重要な成果

Wilson くりこみ群においては、ある運動量以下での有効作用を導出するために、その運動量より大きな値を持つ運動量積分を実行すべく運動量切断が導入される。本研究では、このように与えられた正則化とナイーブには共存しない対称性の新たな定式化を行い、「正則化と共存する変形された対称性」が存在すること、その存在が反場形式での量子論的マスター方程式で記述されることを明らかにした。また、QED などいくつかの系で実際にこのマスター方程式を構築し、その解を求めた。これは、格子理論におけるカイラル対称性や超対称性の定式化を含めて、正則化と共存する対称性の研究における一般的な方法を与えるものである。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

Wilson くり込み群において対称性の存在とその存在様式をもっとも一般的に記述するのは、反場形式での量子論的マスター方程式であることを示した。また、この方程式の解が厳密くりこみ群方程式を満たすという一般論を展開した。

平成 14 年度:

大局的対称性の研究を開始し、格子フェルミオンのカイラル対称性を記述するカギとなる Ginsparg-Wilson 関係式が、我々の量子論的マスター方程式に他ならないことを解明した。

平成 15 年度:

自己相互作用を持つ格子フェルミオンのカイラル対称性を研究し、これに付随する量子論的マスター方程式の厳密解を構成した。また、市松格子を導入して格子上の Yang-Mills 系の超対称性の研究を集中して行った。これらの成果は、Lattice の国際 work-shop で発表した。

平成 16 年度:

連続理論において、フェルミオンに対して質量項を含む正則化を行い、そのカイラル対称性を規定するマスター方程式とくり込み群の Polchinski 方程式を同時に解くことを試みた。また、高次元に対応する自由度を導入して格子ゲージ理論に関する新たな模型を考察した。これらの成果を Lattice の国際 work-shop で発表した。

平成 17 年度:

弦の場の理論における古典解が持つ対称性を研究した。また、厳密くり込み群の Polchinski 方程式の解析を実行し、フェルミオン自己相互作用系に適用した。この結果は、くり込み群国際会議で発表した。また、格子上の超対称性の定式化について Leibniz 則を満たす新たな模型を考案し、Lattice の国際 work-shop で発表した。

平成 18 年度:

最近、園田氏（神戸大学）は運動量切断を持つ QED に対して、新たな Ward-高橋恒等式を導いた。我々は、園田氏との共同研究によって、この恒等式を経路積分の方法から導出し、これが反場形式での量子論的マスター方程式に書けることを示した。また、この形の Ward-高橋恒等式が、格子理論での超対称性の研究などにも適用できることを明らかにした。

査読付国際誌への掲載

[1] *Yuji Igarashi, Katsumi Itoh and Hiroto So, “BRS Symmetry, the Quantum Master Equation and the Wilsonian Renormalization Group”, Prog. Theor. Phys. 106 (2001) 149-166.

[2] *Yuji Igarashi, Katsumi Itoh and Hiroto So, “Regularized Quantum Master Equation in the Wilsonian Renormalization Group”, J. High Energy Phys. 0110 (2001) 032.

[3] *Yuji Igarashi, Katsumi Itoh and Hiroto So, “Realization of Global Symmetries in the Wilsonianian Renormalization Group”, Phys. Lett. B526 (2002) 164-172.

[4] *Yuji Igarashi, Hiroto So and Naoya Ukita, “Ginsparg-Wilson relation and Lattice chiral symmetry in fermionic interacting theories”, Phys. Lett. B535(2002)363-370.

[5] *Yuji Igarashi, Hiroto So and Naoya Ukita, “Lattice chiral symmetry in fermionic interacting theories and the antifield formalism”, Nucl. Phys. B640(2002)95-118.

[6] *Katsumi Itoh, Mitsuhiro Kato, Hideyuki Sawanaka , Hiroto So and Naoya Ukita, “Towards the Super Yang-Mills Theory on the Lattice”, Prog. Theore. Phys. 108 (2002) 363-374.

[7] *Katsumi Itoh, Mitsuhiro Kato, Hideyuki Sawanaka , Hiroto So and Naoya Ukita, “Super Yang-Mills Theory on Lattice and the Transformation”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 106 (2002) 947 - 949.

[8] Yuji Igarashi, *Hiroto So and Naoya Ukita, “Ginsparg-Wilson relation and Lattice chiral symmetry in fermionic interacting theories”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 119 (2003) 778 - 780.

[9] *Katsumi Itoh, Mitsuhiro Kato, Hideyuki Sawanaka Hiroto So and Naoya Ukita, “Novel approach to super Yang-Mills theory on lattice: Exact symmetry and Ichimatsu’pattern”, JHEP 0302 (2003) 033.

[10] *Katsumi Itoh, Mitsuhiro Kato, Hideyuki Sawanaka, Hiroto So and Naoya Ukita, “Fermionic symmetry in Ichimatsu decomposed lattice model”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 119 (2003) 903 - 905.

[11] *Katsumi Itoh, Mitsuhiro Kato, Michika Murata, Hideyuki Sawanaka and Hiroto So, “Vacuum structute of the Ichimatsu decomposed lattice models”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 119 (2003) 906 - 908.

[12] Michika Murata and *Hiroto So, “An approach to higher dimensional theories based on lattice gauge theory”, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 129 (2004) 786 - 788.

[13] *Makoto Ishikake, Yuji Igarashi and Naoya Ukita, “Tree expansion of the Wilson effective action and Polchinski equation”, Prog. Theor. Phys. 133 (2005) 229.

[14] Y. Igarashi, K. Itoh, F. Katsumata, *T. Takahashi and S. Zeze, “Classical Solutions and Order of Zeros in Open String Field Theory”, Prog. Theor. Phys. 114 (2005) 695-706.

[15] Y. Igarashi, K. Itoh, F. Katsumata, *T. Takahashi and S. Zeze, “Exploring Vacuum Manifold of Open String Field Theory”, Prog. Theor. Phys. 114 (2005) 1269-1293.

学会発表

[1] 伊藤克美, 加藤光裕, 宗博人, 澤中英之, 浮田尚哉, 「Towards the super-Yang-Mills model on lattice」, 日本物理学会第５７回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[2] 五十嵐尤二, 伊藤克美, 宗博人, ,「Realization of global symmetreis in the Wilsonian renormalization group」, 日本物理学会第５７回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[3] 伊藤克美, 加藤光裕, 宗博人, 澤中英之, 浮田尚哉,「Exact fermionic symmetry on the Ichimatsu lattice」, 日本物理学会 2002 秋季大会, 2002 年 9 月 13 日.

[4] 浮田尚哉, 宗博人, 五十嵐尤二,「Lattice chiral symmetry in fermionic interacting system」, 日本物理学会第５８回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[5] 伊藤克美, 加藤光裕, 村田享香, 澤中英之, 宗博人,「Vacuum structure of Ichimatsu lattice gauge theory」, 日本物理学会第５８回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[6] 村田享香, 宗博人,「5-dimensional Lattice gauge theory as multilayer world」, 日本物理学会第５８回年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[7] 五十嵐尤二, 石掛真人, 浮田尚哉,「Polchinski 繰り込み群方程式の解析について」, 日本物理学会 2003 秋季大会, 2003 年 9 月 12 日.

[8] 五十嵐尤二, 伊藤克美, 勝又郁枝, 高橋智彦, 瀬々将史,「弦の場の理論における古典解の研究」, 日本物理学会第６０回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[9] 五十嵐尤二, 伊藤克美, 勝又郁枝, 高橋智彦, 瀬々将史,「弦の場の理論における大局的対称性と古典解」, 日本物理学会第６０回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[10] 五十嵐尤二, 石掛真人, 伊藤克美, 澤中英之, 宗博人, 浮田尚哉,「Chiral symmetry and Polchinski renormalization group equation」, 日本物理学会第６０回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[11] 五十嵐尤二, 石掛真人, 伊藤克美 ,「Wilson 繰り込み群上の厳密な対称性の構成と近似について」, 日本物理学会第６１回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

計画班: B12

研究課題名: ゲージ場の理論の非摂動的解析方法の開発と応用

研究代表者: 青木 健一 金沢大学・教授
平山 実 富山大学大学院・教授
寺尾 治彦 金沢大学・助教授

重要な成果

長距離相互作用を持つ系を有限レンジスケーリングで解析する方法を新たに開発し、拡張イジング模型での局在化相の発現を示して相構造を求めた。Skyrme 模型と Faddeev 模型の厳密解やエネルギー値に関して新しい種々の知見を得ることができた。(超対称) 標準模型における階層性を導く模型の考察と、その動力学の非摂動繰り込み群による解析を行った。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

非摂動くりこみ群を量子色力学におけるカイラル対称性の解析に用いるための基本的な枠組みの検討を行った。Faddeev 模型の運動エネルギー項にある重み関数を付け加えた模型や，相互作用項にある重み関数を付け加えた模型は厳密に解けることを示した。大きな異常次元によって素粒子の質量階層性を導く超対称模型の研究を行った。

平成 14 年度:

非摂動くりこみ群の典型的な近似としての局所ポテンシャル近似の性質について深く理解するために、 1 次元の量子系における量子古典相転移の解析に応用した。Skyrme 模型の一群の 2 変数厳密解を得た。この解は相互作用定数に依存し，バリオン数密度 0 を持つものである。 5 次元理論の赤外固定点の性質に着目し超対称フレーバー問題を解消する機構を与えた。

平成 15 年度:

1 次元量子系のモンテカルロシミュレーションによる解析を行い、非摂動くりこみ群による解析結果とあわせて、臨界摩擦に対する予想を提出した。Skyrme 模型の一群の 3 変数厳密解を得た。この解は楕円関数 $\wp$ で記述され、 0 でないバリオン数密度を持つものである。素粒子の質量行列を導くフレーバー対称性と超対称フレーバー問題の関係について考察した。

平成 16 年度:

1 次元量子系の新しい解析方法として、Decimation Renormalization Group(DRG) を定義し、調和振動を解く新しい方法を与えた。SU(2) ゲージ場がメロン配位をとる時の Faddeev-Niemi 場 $\mathbf{n}$ が monopole-antimonopole 対と看做せるものであることを示した。デモクラティック型の質量行列を繰り込みによる効果で実現する模型を考察した。

平成 17 年度:

1 次元イジングスピン系において臨界摩擦を評価するために、DRG を長距離相互作用が存在する場合に拡張し、臨界摩擦予想が指示されることを示した。先に得ていた Skyrme 模型の 3 変数厳密解の特別な場合として domain wall 解が存在することを数値的に示した. 超対称標準模型の小さな階層性問題を解消するような新しい模型を考案した。

平成 18 年度:

有限密度量子色力学におけるカイラル対称性、カラー対称性の相構造を非摂動くりこみ群で解析する方法の基礎的な解析を行った。また拡張イジング模型を用いて長距離相互作用のある系の有限レンジスケーリングによる解析方法を開発した。Skyrmion の profile function としてこれまで最善とされてきたものとは異なる関数形のものを考察し, よりよいエネルギー値を得た. 標準理論を超えるヒッグス模型の考察とその動力学の非摂動繰り込み群による解析を行った。

査読付国際誌への掲載

[1] K. Kubota and H. Terao, "Dynamical Symmetry Breaking in QED_3 from the Wilson RG Point of View", Prog. Theor. Phys. 105 (2001) 809-825..

[2] H. Terao, "ERG and Schwinger-Dyson Equations - Comparison in formulations and applications -", Int. J. Mod. Phys. A16 (2001) 1913-1926.

[3] T. Kobayashi and H. Terao, "Sfermion masses in Nelson-Strassler type of models: SUSY standard models coupled with SCFTs", Phys. Rev. D64 (2001) 075003.

[4] K-I.Aoki, A.Horikoshi, M. Taniguchi and H. Terao, "Non-Perturbative Renormalization Group Analisys in Quantum Mechanics", Prog. Theor. Phys. **108-3** (2002) 571–590.

[5] K-I.Aoki and A.Horikoshi, "Nonpeturbative renormalization group approach for quantum dissipative systems", Phys. Rev. **A66** (2002) 042105-1–9.

[6] M.Hirayama and C.-G. Shi, "Nonlinear sigma models solvable by the Aratyn-Ferreira-Zimmerman ansatz", Physical Review D vol. 65, 065008-1 ~ 065008-9(2002).

[7] M.Hirayama and J. Yamashita, "Class of exact solutions of the Skyrme and the Faddeev models", Physical Review D vol. 66, 105019-1 ~ 105019-6(2002).

[8] T. Kobayashi, H. Nakano and H. Terao, "Yukawa Hierarchy Transfer from Superconformal Sector and Degenerate Sfermion Masses", Phys. Rev. D65 (2002) 015006.

[9] T. Kobayashi and H. Terao, "More about Kaluza-Klein Regularization", Prog. Theor. Phys. 107 (2002) 785-792.

[10] T. Kobayashi, H. Nakano, T. Noguchi and H. Terao, "Sfermion Mass Degeneracy, Superconformal Dynamics and Supersymmetric Grand Unified Theories", Phys. Rev. D66 (2002) 095011.

[11] J. Kubo and H. Terao, "Suppressing FCNC and CP-Violating Phases by Extra Dimensions", Phys. Rev D66 (2002) 116003.

[12] K-I.Aoki and A.Horikoshi, "Non-perturbative renormalizatoin group analysis of the Ohmic quantum dissipation", Phys. Lett. A314 (2003) 177–183.

[13] M.Hirayama , C.-G. Shi and J. Yamashita, "Elliptic solutions ofthe Skyrme model", Physical Review D vol. 67, 105009-1 ~ 105009-10(2003).

[14] T. Kobayashi, H. Nakano, T. Noguchi and H. Terao, "Yukawa Hierarchy Transfer Based on Superconformal Dynamics and Geometrical Realization in String Models", JHEP 0302 (2003) 022.

[15] T. Kobayashi, H. Nakano, H. Terao and K. Yoshioka, "Flavor violation in supersymmetric theories with gauged flavor symmetries", Prog. Thoer. Phys. 110 (2003) 247-267.

[16] T. Kobayashi, J. Kubo and H. Terao, "Exact S_3 symmetry solving the supersymmetric flavor problem", Phys. Lett. B568 (2003) 83-89.

[17] M.Hirayama and C.-G. Shi, "Class of exact solutions of the Faddeev model", Physical Review D vol. 69, 045001-1 ~ 045001-10(2004).

[18] M.Hirayama and J. Yamashita, "Decomposition of meron configuration of SU(2) gauge field ", Physical Review D69,125003-1 ~ 125003-8(2004).

[19] Y. Kajiyama, J. Kubo and H. Terao, "Softening the Supersymmetric Flavor Problem in Orbifold GUTs", Phys. Rev. D69 (2004) 116006.

[20] T. Kobayashi and H. Terao, "Suppressed supersymmetry breaking terms in the Higgs sector", JHEP 0407 (2004) 02.

[21] T. Kobayashi, H. Nakano, H. Terao and Y. Yamada, "Large Mass Scale by Strong Gauge Dynamics with Infrared Fixed Point", Prog. Thoer. Phys. 113 (2005) 413-427.

[22] T. Kobayashi, H. Shirano and H. Terao, "Democratic mass matrices induced by strong gauge dynamics and large mixing angles for leptons", Prog. Thoer. Phys. 113 (2005) 1077-1099.

[23] T. Kobayashi, H. Nakano and H. Terao, "Induced top Yukawa coupling and suppressed Higgs mass parameters", Phys. Rev. D71 (2005) 115009.

[24] M. Hirayama, H. Yamakoshi and J. Yamashita, Estimation of the Lin-Yan bound of the least static energy of the Faddeev model, Prog. Theor.l Phys., 116(2006) 273-283.

[25] J. Yamashita and M. Hirayama, Restricting profile function of hedgehog Skyrmion, Phys. Lett. B 642 (2006)160-163.

[26] C.-G. Shi and M. Hirayama, Domain wall solution of the Skyrme model, International J. of Mod. Phys. A, .21(2006) 5845-5860.

[27] T. Kobayashi, H. Terao and A. Tsuchiya, "Fine-tuning in the gauge mediated supersymmetry breaking models and the induced top Yukawa coupling", Phys. Rev. D74 (2006) 015002.

[28] T. Kobayashi, Y. Omura and H. Terao, "Dynamical realization of democratic Yukawa matrices and alignment of A-terms", Phys. Rev. D74 (2006) 053005.

B12

国際会議招待講演

[1] H. Terao, "IR behavior of sfermion masses in MSSM coupled to SCFTs", The 9th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Dubuna, 2001 年 6 月.

[2] H. Terao, "MSSM coupled to Superconformal Field Theories.", Corfu Summer Institute, Greece, 2001 年 9 月 10 日.

[3] K-I. Aoki, "Non-perturbative renormaliation group approach to the dynamical chiral symmetry breaking", Internatinal Workshop on Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories, 2002 年 12 月.

[4] H. Terao, "Exact S_3 Symmetry Solving the SUSY Flavor Problem", The 11th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Arizona, 2003 年 6 月.

[5] K-I. Aoki, "Non-perturbative Renormalization Group Analysis for Dynamical Chiral Symmetry Breakingnin QC", International Conference on Color Confinement and Hadrons in Quantum Chromodynamics, 2003 年 7 月.

[6] H. Terao, "MSSM fine tuning problem and dynamical suppression of the Higgs mass parameters", The 12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Tsukuba, 2004 年 6 月.

[7] H. Terao, “Higgs with a large anomalous dimension and top quark mixing through conformal dynamics”, Internatinal Workshop on Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories 2006, 2006 年 10.

[8] H. Terao, “Higgs with a large anomalous dimension and top quark mixing through conformal dynamics”, Summer Institute 2006, Pohang, 2006 年 8 月.

国内会議招待講演

[1] 青木健一, 「トンネル時間について」, 原子核における量子トンネル崩壊現象, 2001 年 7 月.

[2] 青木健一, 「RG Methods to Solve Dynamical Chiral Symmetry Breaking」, 繰り込み群の数理科学での応用, 2001 年 7 月.

[3] H. Terao, 「Renormalization Group for Soft SUSY Breaking Parameters and MSSM Coupled with Superconformal Field Theories」, Summer Institute 2001, Fuji-Yoshida, Japan, 2001 年 8 月 16 日.

[4] 寺尾治彦, 「繰り込み群と有効理論」, 原子核若手三者夏の学校, 2005 年 8 月 10,11 日.

学会発表

[1] 寺尾治彦, 「超共形ゲージ理論によって階層的質量行列を導く超対称模型について」, 素粒子物理学の新展開, 2001 年 7 月 17 日.

[2] 小林達夫，中野博章，寺尾治彦, 「Yukawa hierarchy transfer by superconformal interactions」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 25 日.

[3] 加藤潤哉，寺尾治彦, 「非摂動繰り込み群における特異性と多価性」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[4] 寺尾治彦, 「Suppressing FCNC and CP-Violating Phases by Extra Dimensions」, 素粒子物理学の新展開, 2002 年 7 月 10 日.

[5] 加藤潤哉，寺尾治彦, 「Infrared behavior od the gluon propagator from exact renormalization group」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 14 日.

[6] 寺尾治彦, 「Democratic mass matroces by strong unification and the lepton mixing angles」, 素粒子物理学の新展開, 2004 年 6 月 29 日.

[7] 小林玉青、青木健一, 「経路積分のくりこみ群による評価」, 日本物理学会 2004 秋季大会, 2004 年 9 月 30 日.

[8] H. Terao, 「Supersymmetric little hierarchy problem and strong dynamics suppressing Higgs mass parameters above TeV」, Physics in LHC era, 2004 年 12 月 15 日.

[9] 小林玉青、青木健一, 「実空間くりこみ群による量子力学系の解析」, 場の量子論の基礎的諸問題と応用, 2004 年 12 月 16 日.

[10] 小林玉青、青木健一, 「量子トンネル系の有効質量解析」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 26 日.

[11] 小林玉青、青木健一, 「量子散逸系のくりこみ群による解析」, 日本物理学会 2005 秋季大会, 2005 年 9 月 15 日.

[12] T.Kobayashi, K-I.Aoki, 「A Renormalization group Approach to the Critical Dissipation in Quantum Systems」, 場の量子論の基礎的諸問題と応用, 2005 年 12 月 20 日.

[13] 寺尾治彦, 土谷暁人, 「超対称標準理論の微調整問題とその解消の試み」, 素粒子物理学の新展開, 2006 年 3 月 14 日.

[14] 富田洋、青木健一, 小林玉青, 「長距離相互作用のあるイジング模型のくりこみ群による解析」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[15] 小林玉青, 青木健一, 富田洋, 「散逸量子系の臨界摩擦のくりこみ群による評価」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[16] 宮下和洋、青木健一, 「有限密度南部・ジョナラシニオ模型におけるカイラル対称性の回復の非摂動くりこみ群による解析」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[17] 小林達夫，土谷暁人，寺尾治彦, 「超対称標準理論の微調整問題とその解消の試み」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 29 日.

[18] T.Kobayashi, K-I.Aoki, H.Tomita, "Renormalization group analysis of the quauntum tunnelling suppression due to long range interactions in the time direction", 場の理論の基礎的諸問題と応用–場の理論のトポロジー的視点–, 2006 年 12 月 14 日.

[19] K.Miyashita, K-I.Aoki, H.Inoue, "Renormalization group analysis of chiral phase structure of Nambu-Jona-Lassinio model and QCD in finite temparature and density", 場の理論の基礎的諸問題と応用–場の理論のトポロジー的視点–, 2006 年 12 月 15 日.

[20] 大村雄司，小林達夫，寺尾治彦, 「Dynamical realization of democratic Yukawa matrices and alignment of A-terms」, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 26 日.

[21] 土谷暁人, 寺尾治彦, 湯川相互作用のある赤外固定点の Wilson 繰り込み群による解析, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[22] 寺尾治彦, 土谷暁人, 湯川相互作用のある赤外固定点の TeV 領域のヒッグス模型への応用, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[23] 宮下和洋、青木健一、井上北斗, 時間非局所相互作用による量子トンネル効果抑制のくりこみ群による解析, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[24] 富田洋、青木健一、小林玉青, 長距離相互作用のある 1 次元イジング系での自発的対称性の破れのくりこみ群による解析, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

[25] 小林玉青、青木健一、富田洋, 時間非局所相互作用による量子トンネル効果抑制のくりこみ群による解析, 日本物理学会 2007 春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

計画班: B13

研究課題名: 物質場と重力における対称性とトポロジー

研究代表者: 東島 清　大阪大学大学院理学研究科・教授
細谷 裕　大阪大学大学院理学研究科・教授
窪田 高弘　大阪大学大学院理学研究科・教授
見目 正克　奈良女子大学理学部・教授
中原 幹夫　近畿大学理工学部・教授

重要な成果

高次元ゲージ理論を用いて、ゲージ場とヒッグス場を統合した。余剰次元におけるアハロノフ・ボーム位相は、4 次元電弱理論に現れるヒッグス場と同定される。5 次元時空が曲がったワープ空間の場合には、現実的な模型を構成することができる。ヒッグス粒子の質量は 100-300GeV と予想される。また、ヒッグス粒子とクォーク・レプトン等の相互作用は、標準理論と大きく異なり、近い将来、LHC などによる検証が期待される。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

非線形シグマ模型を補助場を用いて定式化。Einstein-Weinberg-Salam 理論において新しいトポロジカル解を導出。4 次元および 3 次元の球対称重力理論の古典および量子解を解析。アルカリ原子におけホロノミー (Berry 位相) 位相差による渦の連続的生成を導出。

平成 14 年度:

非コンパクトなリッチ平坦な空間に値を取る非線形シグマ模型を構成。トポロジー特異点を持つ閉じたデジッター時空における有限の量子効果を導出。Non-Abelian ホロノミーを用いて量子計算に必要なアルゴリズムを開発。

平成 15 年度:

Large N 法を用いて非線形シグマ模型を非摂動論的に解析。非自明なトポロジ− を持つ余剰次元がある場合の細谷機構を解析。重力場の対称性を用いて保存量と境界項との関係を研究。スカラー・タキオンおよびベクトル場のブレインへの局在を示す。

平成 16 年度:

非線形シグマ模型における非摂動論的くりこみ群方程式を導出。ブラックホールの熱力学的性質を研究。6 次元非可換ゲージ理論において、完全に正則なモノポール解を発見。anomaly mediation と呼ばれる超対称性の破れの機構において tachyonic slepton 問題を回避する模型を構築。SU(4) の Cartan 分解を用いて量子アルゴリズムの時間最適解を構成する方法を開発し，実際に NMR 量子コンピュータで実行。

平成 17 年度:

非摂動的くりこみ群方程式を用いて、アインシュタイン・ケーラー多様体が固定点になることを示す。ゲージ場と Higgs 場を高次元ゲージ理論のなかで統一し、量子効果により対称性を破る細谷機構を電弱相互作用に適用。球対称で静的なブラックホールが持っているエントロピーを、Brick Wall 正則化を用いて計算。ホロノミーを用いる量子計算において、底空間上の最短ループで与えられたホロノミーを実現する等ホロノミー問題の厳密解を導出。回転座標系へのゲージ変換を用いて、NMR における問題を解決。

平成 18 年度:

ゲージ・ヒッグス統合理論でワインバーグ角とクォークレプトンの質量行列をただしく再現、LHC 実験での検証を提唱。物質場のエントロピーが、ブラックホールのホライズン周辺に局在する機構を研究。NMR を用いてデコヒーレンスの抑制理論。超微細超伝導素子を用いてベリー位相の観測可能性を提唱。

査読付国際誌への掲載

[1] Kiyoshi Higashijima, Tetsuji Kimura and Muneto Nitta, "Ricci-flat Kähler Manifolds from Supersymmetric Gauge Theories", Nuclear Physics **B623** (2002) 133-149.

[2] Kiyoshi Higashijima, Tetsuji Kimura and Muneto Nitta, "Gauge Theoretical Construction of Non-compact Calabi-Yau Manifolds", Annals of Physics **296** (2002) 347-370.

[3] Kiyoshi Higashijima, Tetsuji Kimura and Muneto Nitta, "Calabi-Yau Manifolds of Cohomogeneity One as Complex Line Bundles", Nuclear Physics **B645** (2002) 438-456.

[4] Kiyoshi Higashijima, Etsuko Itou and Muneto Nitta, "Normal Coordinates in Kahler Manifolds and the Background Field Method", Progress of Theoretical Physics **108** (2002) 185-202.

[5] Kiyoshi Higashijima and Etsuko Itou, "Wilsonian Renormalization Group Approach to N=2 Supersymmetric Sigma Models", Progress of Theoretical Physics **108** (2002) 737-753.

[6] Y. Hosotani, Scaling laws in the Einstein-Yang-Mills monopoles and dyons, J. Math. Phys. 43 (2002) 597 - 603.

[7] Y. Hosotani, T. Nakajima, R.G. Daghigh and J.I. Kapusta,, Cosmic Shells', Phys. Rev. D66 (2002) 104020-1 to 104020-10.

[8] H. Emoto, Y. Hosotani and T. Kubota, "Cosmology in the Einstein-Electroweak Theory and Magnetic Fields ", *Progress of Theoretical Physics* **108** (2002) 157 - 183.

[9] T. Kubota, J. Rasmussen, M.A. Walton and J.-G. Zhou, "Maximally Symmetric D-branes in Gauged WZW Models", *Physics Letters* **B 544** (2002) 192 - 198 .

[10] M. Kenmoku , R. Sato, T. Takasugi, S. Uchida abd T. Matsuyama, "Topological Solutions in 2+1 Dimensional Gravity – Case of Conical Singularity –", Gravitation and Cosmology **8, Supplement II** (2002) 63 – 66.

[11] M. Kenmoku , R. Sato, T. Takasugi, S. Uchida abd T. Matsuyama, "Classical and quantum solutions of (2+1)-dimensional gravity under the de Broglie-Bohm interpretation", Classical and Quantum Gravity **19** (2002) 799 – 809.

[12] S.-i. Ogawa, M. Möttönen, M. Nakahara, T. Ohmi and H. Shimada, "Method to create a vortex in a Bose-Einstein condensate", Physical Review A **66** 013617 (2002).

[13] M. Möttönen, N. Matsumoto, M. Nakahara and T. Ohmi, "Continuous creation of a vortex in a Bose-Einstein condensate with hyperfine spin $F = 2$", Journal of Physics: Condensed Matter **14**, 13481 (2002).

[14] A. O. Niskanen, M. Nakahara and M. M. Salomaa, "Optimal Holonomic Quantum Gates", Quantum Information and Computation **2**, 560 (2002).

[15] A. O. Niskanen, M. Nakahara and M. M. Salomaa, "Realization of arbitrary gates in holonomic quantum computation", Physical Review A **67**, 012319 (2002).

[16] Kiyoshi Higashijima and Etsuko Itou, "A New Class of Conformal Field Theories with Anomalous Dimensions", Progress of Theoretical Physics **109** (2003) 751-764.

[17] Kiyoshi Higashijima and Etsuko Itou, "Unitarity Bound of the Wave Function Renormalization Constant", Progress of Theoretical Physics **110** (2003) 107-114.

[18] Kiyoshi Higashijima and Etsuko Itou, "Three Dimensional Nonlinear Sigma Models in the Wilsonian Renormalization Method", Progress of Theoretical Physics **110** (2003) 563-578.

[19] Y. Hosotani, Weyl Invariant Space-time, Prog. Theoret. Phys. 109 (2003) 295 - 303.

[20] N. Haba, M. Harada, Y. Hosotani, and Y. Kawamura , Dynamical rearrangement of gauge symmetry on the orbifold S^1/Z_2, Nucl. Phys. B657 (2003) 169 - 213, Errutum, Nucl. Phys. B669 (2003) 381.

[21] Ramin G. Daghigh and Y. Hosotani, Gravitating Fermionic Lumps with a False Vacuum Core, Prog. Theoret. Phys. 110 (2003) 1151 - 1168.

[22] M. Kenmoku and K. Shigemoto, "Conservation of Energy in Black Holes and in Cosmology", Gravitation and Cosmology **9** (2003) 55 – 58.

[23] M. Kenmoku, S. Uchida and T. Matsuyama, "Conical Singular Solutions in (2 + 1)-Dimensional Gravity Employing the ADM Canonical Formalis", International Journal of Modern physics **12** (2003) 677–687.

[24] N. Haba, Y. Hosotani and Y. Kawamura, 'Classification and dynamics of equivalence classes in $SU(N)$ gauge theory on the orbifold S^1/Z_2, Prog. Theoret. Phys. 111 (2004) 265 - 289.

[25] N. Haba, Y. Hosotani, Y. Kawamura, and T. Yamashitai, Dynamical symmetru breaking in gauge-Higgs unification on orbifold, Phys. Rev. D70 (2004) 015010.

[26] Y. Hosotani, S. Noda and K. Takenaga, Dynamical gauge symmetry breaking and mass generation on the orbifold T^2/Z_2, Phys. Rev. D69 (2004) 125014.

[27] T. Kubota, T. Ueno and N. Yokoi, "Wheeler-DeWitt Equation in AdS/CFT Correspondence", *Physics Letters* **B 579** (2004) 200-204.

[28] K. Nishihara and T. Kubota, "Extension to the Super-Weyl-Kähler Symmetry in the Anomaly Mediation ", *Physics Letters* **B 586** (2004) 404-410.

[29] M. Fukugita and T. Kubota, "Radiative Corrections to Neutrino-Nucleon Quasielastic Scattering", *Acta Physica Polonica* **B 35** (2004) 1687 - 1731.

[30] M. Fukugita and T. Kubota, "Full One-Loop Radiative Correvtions to the Asymmetry Parameter of Polarised Neutron Decay", *Physics Letters* **B 598** (2004) 67-75 .

[31] M. Kenmoku and K. Shigemoto, "Solution Independent Analysis of Black Hole Entropy in Brick Wall Model", Journal of Korean Physical Society **45** (2004) 51–53.

[32] J. J. Vartiainen, A. O. Niskanen, M. Nakahara and M. M. Salomaa, "cceleration of quantum algorithms using three-qubit gates", International Journal of Quantum Information **2**, 1 (2004)..

[33] S. Tanimura, D. Hayashi and M. Nakahara, "Exact solutions of holonomic quantum computation", Physics Letters A **325**, 199 (2004).

[34] J. J. Vartiainen, A. O. Niskanen, M. Nakahara, and M. M. Salomaa, "Implementing Shor's algorithm on Josephson charge qubits", Physical Review A **70**, 012319 (2004).

[35] Y. Kawaguchi, M. Nakahara and T. Ohmi, "Topological vortex formation in a Bose-Einstein condensate under gravitational field", Physical Review A **70** 043605 (2004).

[36] M. Nakahara, Y. Kondo, K. Hata and S. Tanimura, "Demonstrating quantum algorithm acceleration with NMR quantum computer", Physical Review A **70**, 052319 (2004).

[37] H. Kihara. Y. Hosotani and M. Nitta, Generalized monopoles in six-dimensional non-Abelian gauge theory, Phys. Rev. D71 (2005) 041701.

[38] Y. Hosotani, S. Noda and K. Takenaga, Dynamical gauge-Higgs unification in the electroweak theory, Phys. Lett. B607 (2005) 276-285.

[39] Y. Hosotani and M. Mabe, 'Higgs Boson Mass and Electroweak-Gravity Hierarchy from Dynamical Gauge-Higgs Unification in the Warped Spacetime, Phys. Lett. B615 (2005) 257-265.

[40] M. Fukugita and T. Kubota, "Radiative Corrections to the Neutrino-Deuteron Reactions", *Physical Review* **D72** (2005) 07130 1-3.

[41] M. Kenmoku , K.K. Nandi and K. Shigemoto, "Surface Terms in the Action of Gravitational Theory", Classical and Quantum Gravity, **22** (2005) 3923–3934.

[42] S. Tanimura, M. Nakahara and D. Hayashi, "Exact solutions of the isoholonomic problem and the optimal control problem in holonomic quantum computation", Journal of Mathematical Physics **46**, 022101 (2005).

[43] Y. Kawaguchi, M. Nakahara and T. Ohmi, "Topological Phase Imprinting in BEC in Presence of Gravitational Field", Journal of Low Temperature Physics **138**, 699 (2005).

[44] Y. Hosotani, S. Noda, Y. Sakamura, and S. Shimasaki, 'Gauge-Higgs unification and quark-lepton phenomenology in the warped spacetime, Phys. Rev. D73 (2006) 096006.

[45] T. Kubota, "Radiative Corrections to Neutrino-Deuteron Scattering Revisited", *Nuclear Physics B* (*Proc. Suppl.*) **157** (2006) 111-114.

[46] M. Kenmoku , K. Ishimoto, K.K. Nandi and K. Shigemoto,, " Scalar Field Contribution to Rotating Black Hole Entropy", Physical Review **D 72** (2006) 064004.

[47] M. Kenmoku and Y. Kobayashi, "Generalized Area Law under Multi-parameter Rotating Black Hole Spacetime", Classical and Quantum Gravity, **23** (2006) 6257–6273.

[48] M. Nakahara, J. J. Vartiainen, Y. Kondo, S. Tanimura and K. Hata, "Reducing execution time of quantum algorithms by additional permutation gates", Physics Letters A, **350, 27 (2006).**

[49] Takahiro Kubota, "Radiative Corrections to Low-Energy Neutrino-Deuteron Reactions Revisited", *Particles ans Nuclei* **842** (2006) 886-888.

[50] R. Rahimi, A. SaiToh, M. Nakahara and M. Kitagawa, "Single-experiment-detectable multipartite entanglement witness for ensemble quantum computing", Phys Rev. A 75 (2007) 032317 1-9.

[51] Y. Sakamura and Y. Hosotani, WWZ, WWH, and ZZH Couplings in the Dynamical Gauge-Higgs Unification in the Warped Spacetime, Phys. Lett. B645 (2007) 442-450.

[52] Takeshi Higashi, Kiyoshi Higashijima and Etsuko Itou, "Three dimensional conformal sigma models", Progress of Theoretical Physics **117** (2007) to appear.

国際会議招待講演

[1] Yutaka Hosotani, The Most Wanted Higgs Particle, The 5th COE International Symposium of the 21st century COE program, "Exploring New Science by Bridging Particle-Matter Hierarchy", Tohoku University, February 14-16, 2007.

[2] Mikio Nakahara, Generation and suppression of decoherence in NMR quantum computer, Nara Advanced Interdisciplinary Workshop on Quantum Information Science, Nara Institute of Science and Technology, January 25-26, 2007.

[3] Yutaka Hosotani, Gauge-Higgs Unification and LHC/ILC, 2006 International Workshop SCGT 06, "Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories", Nagoya, 21 - 24 November 2006.

[4] Yutaka Hosotani, Field Theory (plenary talk), Joint Meeting of Pacific Region Particle Physics Community, (APS-DPF2006 + JPS2006), Honolulu, USA, October 29 - November 3, 2006.

[5] Takahiro Kubota, "Radiative Corrections to Neutrino-Reactions at KamLAND and SNO", Hanoi Topical Conference on Particle Physics, 2006 年 9 月 20 日.

[6] Kiyoshi Higashijima, "Conformal Sigma Models", 3rd International Conference on the Exact Renormalization Goup, 2006 年 9 月 20.

[7] Yutaka Hosotani, Non-universality of Gauge Couplings and Suppressed Yukawa Couplings, SUSY2006: 14th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions, Irvine, USA, 12 - 17 June 2006.

[8] Yutaka Hosotani, Dynamical Gauge-Higgs Unification, Cairo International Conference on High Energy Physics, January 14-17, 2006.

[9] Yutaka Hosotani, Physics consequences of extra-dimensional gauge-Higgs unification, YITP workshop "Fundamental Problems and Applications of Quantum Field Theory ", December, 2005.

B13

[10] Yutaka Hosotani, International Conference "Discoveries of Higgs and Supersymmetry to Pioneer Physics in the 21st Century", Predictions for LHC physics from extra-dimensional gauge-Higgs unification, November 24-25, 2005.

[11] M. Kenmoku, "Scalar Field Contribution to Black Hole Entropy", VII Asia-Pacific International Conference on Gravitation and Astrophysics, 2005 年 11 月 23 日.

[12] Yutaka Hosotani, Sapporo Autum School, Quarks, leptons, and Higgs phenomenology, October 26-28, 2005.

[13] Takahiro Kubota, "Radiative Corrections to Low-Energy Neutrino-Deuteron Reactions Revisited ", XVII-th Particles and Nuclei International Conference , 2005 年 10 月 26 日.

[14] Takahiro Kubota, "Radiative Corrections to Neutrino-Deuteron Scattering Revisited", International Conference on "Application of Quantum Field Theory to Phenomenology ", 2005 年 10 月 4 日.

[15] Kiyoshi Higashijima, "Conformal Sigma Models in Three Dimensions", 6th International Conference on "Renormalization Goup" , 2005 年 8 月 30-9 月 3 日.

[16] Kiyoshi Higashijima, "Conformal Sigma Models in Three Dimensions", International Workshop "Supersymmetries and Quantum Symmetries" , 2005 年 7 月 27-31 日.

[17] Yutaka Hosotani, SUSY 2005: "the 13th International Conference on Supersymmety and Unification of Fundamental Interactions, Higgs Boson Mass and Kaluza-Klein Scale from Dynamical Gauge-Higgs Unification in the Warped Spacetime, July 18-23, 2005.

[18] Yutaka Hosotani, Progress in the Particle Physics 2005, Higgs Phenomenology in the Dynamical Gauge-Higgs Unification in the Randall-Sundrum Warped Spacetime, June 2005.

[19] Mikio Nakahara, Topological Vortex Formation in a Bose-Einstein Condensate of Alkali-Metal Atoms, The 1st International Symposium on Topology in Ordered Phases of the 21st century COE program, "Topological Science and Technology", Hokkaido University, March 5-7, 2005.

[20] Kiyoshi Higashijima, Frontier of Quantum Physics, Wilsonian Renormalization Approach to Nonlinear Sigma Models, 17 - 19 February 2005.

[21] Yutaka Hosotani, Frontier of Quantum Physics, Gauge-Gravity Hierarchy from Dynamics of Wilson Line Phases, 17 - 19 February 2005.

[22] Yutaka Hosotani, 2004 Workshop on Dynamical Symmetry Breaking, Dynamical Gauge Symmetry Breaking by Wilson Lines in the Electroweak Theory, 21-22 December 2004.

[23] Takahiro Kubota and M. Fukugita, "Radiative Corrections to Neutrino-Nucleon Quasielastic Scattering", International Conference "PASCOS'04", 2004 年 8 月 21 日.

[24] Yutaka Hosotani, SUSY 2004, Dynamical Gauge-Higgs Unification, 17-23 June 2004.

[25] M. Kenmoku, "Surface Terms in the Action of the Gravitational Theory", VI APCTP International Conference of Gravitation and Astrophysics, 2003 年 10 月 6 日.

[26] Yutaka Hosotani, Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, False Vacuum Lumps with the Fermionic Core, 20-26 July 2003.

[27] Yutaka Hosotani, SCGT 2002 (Strong Coupling Gauge Theory), GUT on Orbifolds – Dynamical rearrangement of gauge theory, 10 - 13 Dec. 2002.

[28] Kiyoshi Higashijima, International Conference on High Energy Physics, "Construction of Supersymmetric Nonlinear Sigma Models on Noncompact Calabi-Yau Manifolds with Isometry", 2002 年 7 月 24-31 日 .

[29] Yutaka Hosotani, International Conference on High Energy Physics, Cosmic Solutions in the Einstein-Weinberg-Salam Theory and the Generation of Large Electric and Magnetic Fields, 24-31 July 2002.

[30] M. Kenmoku, "Conservation of Energy for Black Holes and Cosmology", General Relativity and Gravitation 11, 2002 年 7 月 5 日.

[31] Mikio Nakahara, "Vortices in BEC of Alkali Atoms", XXXVI Annual Conference of the Finnish Physical Society, 2002 年 3 月 15 日.

国内会議招待講演

[1] 細谷　裕, Gauge-Higgs Unification in the Warped Space, RIKEN Topical Seminar on GUT and Electroweak Symmetry Breaking in Warped Space, 27 January 2007.

[2] 東島　清,「湯川・朝永の理論とその後の展開」, 高大連携夏季講習会, 2006 年 8 月 10 日.

[3] 窪田高弘,「朝永振一郎博士とくりこみ理論　—無限大との闘い—」, 高大連携夏季講習会, 2006 年 8 月 9 日.

[4] 窪田高弘,「湯川秀樹博士のノーベル賞論文　—新粒子導入の思考様式—」, 高大連携夏季講習会, 2006 年 8 月 9 日.

[5] 東島　清,「Bethe-Salpeter 方程式の特異性と連続固有値」, RIMS 共同研究「場の量子論の研究」, 2006 年 5 月 11 日.

[6] 東島　清,「素粒子の模型と超対称シグマ模型」, 21 世紀 COE「究極と統合の新しい基礎科学」研究活動報告会, 2006 年 3 月 6 日.

[7] 東島　清,「Conformal Sigma Models in Three Dimensions」, 神戸ワークショップ — 厳密繰り込み群・密度行列繰り込み群, 2005 年 12 月 2 日.

[8] 東島　清,「3 次元時空における超対称非線形シグマ模型」, 21 世紀 COE 研究会「素粒子論と幾何学の最前線」, 2005 年 11 月 7 日.

[9] 東島　清,「Realization of Symmetries in Quantum Field Theories」, 21 世紀 COE「究極と統合の新しい基礎科学」冬の学校, 2005 年 3 月 14 日.

[10] 窪田 高弘,「Full One-Loop Radiative Corrections to the Asymmetry Parameter of Polarised Neutron Beta Decay」, 中性子基礎物理研究会, 2004 年 8 月 6 日.

[11] Yutaka Hosotani, Gauge-Higgs Unification, KEK Spring School on Strings and Field Theory, March 2004.

[12] 窪田 高弘,「Radiative Corrections to Neutrino-Nucleon Quasielastic Scattering」, 中性子基礎物理研究会, 2004 年 2 月 24 日.

[13] Yutaka Hosotani, , Summer Institute at Tohoku University, September 2003.

[14] 西原康介, 窪田高弘,「Anomaly Mediation の Tachyonic Slepton Problem の解決法」, 基研研究会「素粒子物理学の進展」, 2003 年 7 月 23 日.

[15] Yutaka Hosotani, YITP, Workshop on Field Theory, The Hosotani Mechanism on Orbifolds, 18 - 20 December 2002.

[16] 横井直人, 窪田高弘, 上野龍矢,「The $1/N^2$ Corrections to Boundary Weyl Anomaly in Holographic Renormalization Group 」, 基研研究会「Quantum Field Theories: Fundamental Problems and Applications」, 2002 年 12 月 20 日.

[17] Yutaka Hosotani, YITP, Workshop, Cosmological Solution in the Einstein-Weinberg-Salam Theory and Generation of Strong Electromagnetic Fields, 11 July 2002.

[18] 横井直人, 窪田高弘, 上野龍矢,「Comments on $1/N^2$ Corrections in AdS/CFT Correspondence」, 基研研究会「場の量子論 2002」, 2002 年 7 月 26 日.

学会発表

[1] 細谷裕, 江本大輝, 窪田高弘,「Einstein-Weinberg-Salam 理論の宇宙解とその物理」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 26 日.

[2] 西原康介, 窪田高弘,「Super-Weyl-Kähler Anomaly と Scalar Mass」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[3] 西原康介, 窪田高弘,「Anomaly Mediation の Tachyonic Slepton Mass Problem について」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 11 日.

[4] 西原康介, 窪田高弘,「Tacyonic Slepton Problem and Mu Problem」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 28 日.

[5] 見目正克, 多重回転ブラックホールエントロピーへの量子場の寄与, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[6] M. Möttönen, N. Matsumoto, M. Nakahara and T. Ohmi, 「Creation of a vortex in BEC with F=2」, フィンランド物理学会 2002 年大会 (Juensuu), 2002 年 3 月 15 日.

[7] A. O. Niskanen, M. Nakahara and M. M. Salomaa, 「Optimal realization of arbitrary gates in HQC」, EQIS 2002 (Tokyo), 2002 年 9 月 6 日.

[8] A. O. Niskanen, M. M. Salomaa and M. Nakahara, 「Quantum Gates for Electrons Floating on Liquid Helium」, EQIS 2002 (Tokyo), 2002 年 9 月 6 日.

[9] 中原幹夫，A. O. Niskanen, M. M. Salomaa, 「液体ヘリウム上の電子系による量子ゲートの実現」, 日本物理学会 2003 年年次大会, 2003 年 3 月 30 日.

[10] J. J. Vartiainen, A. O. Niskanen, M. Nakahara and M. M. Salomaa, 「Acceleration of quantum algorithms using three-qubit gates」, EQIS 2003 (Kyoto), 2003 年 9 月 4 日.

[11] 中原幹夫, Juha Vartiainen, Antti O. Niskanen, Martti M. Salomaa, 「多量子ビットゲートによる量子アルゴリズムの加速」, 第 9 回量子情報技術研究会 (厚木), 2003 年 12 月 11 日.

[12] 中原幹夫,「ホロノミック量子計算入門」, 第 9 回量子情報技術研究会 (厚木), 2003 年 12 月 12 日.

[13] 谷村省吾，林大輔，中原幹夫,「ホロノミック量子計算の幾何学的最適化」, 日本物理学会 2004 年年次大会 (福岡), 2004 年 3 月 28 日.

[14] 中原幹夫，J. J. Vartiainen, A. O. Niskanen, M. M. Salomaa, 「多量子ビットを用いた量子アルゴリズムの加速」, 日本物理学会 2004 年年次大会 (福岡), 2004 年 3 月 30 日.

[15] M. Nakahara, Y. Kondo, K. Hata and S. Tanimura, 「Toward Time-Optimal Control of Homonuclear Spins in NMR Quantum Computer」, EQIS 2004 (Tokyo), 2004 年 9 月 6 日.

[16] 谷村省吾，中原幹夫，林大輔,「等ホロノミー問題とホロノミック量子計算の幾何学的最適化」, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (青森), 2004 年 9 月 15 日.

[17] 畑和也，中原幹夫，近藤康，谷村省吾,「NMR 量子コンピュータにおけるパルスの時間的最適化」, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (青森), 2004 年 9 月 15 日.

[18] 中原幹夫，畑和也，近藤康，谷村省吾,「同種核分子を用いた NMR 量子コンピュータにおけるアルゴリズム最適化」, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (青森), 2004 年 9 月 15 日.

[19] 中原幹夫,「Cartan 分解を用いた量子アルゴリズムの時間最適化：理論と実験」, 数理解析研究所研究集会「力学系と微分幾何」(京都), 2004 年 9 月 9 日.

[20] 中原幹夫，谷村省吾，近藤康，畑和也,「Cartan 分解を用いた量子アルゴリズムの最適化：理論と実験」, 第 11 回量子情報技術研究会 (京都), 2004 年 12 月 6 日.

[21] 中原幹夫,「Warp-drive quantum computing: Theory and experiment」, 基礎物理学研究所研究集会「場の理論の基礎的諸問題と応用」(京都), 2004 年 12 月 18 日.

[22] 畑和也，中原幹夫，近藤康，谷村省吾，J. J. Vartiainen,「Cartan 分解とワープドライブによる量子アルゴリズムの加速」, CP-PACS による計算物理学 2004 (つくば), 2005 年 2 月 10 日.

[23] 近藤康，中原幹夫，谷村省吾，畑和也,「同種核を用いた NMR 量子コンピュータのハミルトニアン」, 日本物理学会 2005 年年次大会 (野田), 2005 年 3 月 27 日.

[24] 中原幹夫，谷村省吾，近藤康，Juha Vartiainen，畑和也,「Warp-Drive を用いた量子アルゴリズムの加速」, 日本物理学会 2005 年年次大会 (野田), 2005 年 3 月 27 日.

[25] Mikio Nakahara, Juha J. Vartiainen, Yasushi Kondo, Shogo Tanimura, Kazuya Hata,「Warp-Drive Quantum Computation」, EQIS 2005 (Tokyo), 2005 年 8 月 28 日.

[26] 吉宗晋太郎，近藤康，中原幹夫,「伝送路における量子情報の緩和とその抑制：NMR を用いたシミュレーション」, 日本物理学会 2005 年秋季大会（京都）, 2005 年 9 月 22 日.

[27] 近藤康，中原幹夫，谷村省吾,「NMR による緩和現象のシミュレーション」, 日本物理学会 2005 年秋季大会（京都）, 2005 年 9 月 22 日.

[28] 山口宏信，近藤康，中原幹夫，谷村省吾,「エンタングルした 2 量子ビットにおけるデコヒーレンスの発生とその抑制」, 日本物理学会 2006 年年次大会（愛媛）, 2006 年 3 月 29 日.

[29] 大久保智和，中原幹夫,「Josephson Charge Qubit における時間最適演算」, 日本物理学会 2006 年年次大会（愛媛）, 2006 年 3 月 30 日.

[30] 中原幹夫，小川伸一郎，近藤康,「3-qubit NMR state tomography」, 日本物理学会 2006 年秋季大会 (千葉), 2006 年 9 月 25 日.

[31] R. Rahimi，齋藤暁 A，中原幹夫，北川勝浩, "Single-experiment-detectable multipartite entanglement witness for ensemble quantum computing", 日本物理学会 2007 年春季大会 (鹿児島), 2007 年 3 月 19 日.

[32] 見目正克，小林由起子，桑田麻依子, Kerr-AdS 時空における物質場の放射問題, 日本物理学会 2007 年春季大会 (首都大学), 2007 年 3 月 25 日.

[33] 堀田暁介, 窪田高弘, 高階微分項を入れた超重力理論におけるブラックホール解とアトラクター機構, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

[34] 伊藤悦子、東建志, 東島清, 3 次元非線形模型の非摂動論的解析 1, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

[35] 東建志, 東島清、伊藤悦子, 3 次元非線形模型の非摂動論的解析 2, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 28 日.

B13

ホームページの公開

[1] http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/ higashij/

計画班: B14

研究課題名: 対称性の自発的破れを持つ系と非摂動的方法

研究代表者: 柏 太郎　愛媛大学大学院・教授 (H13 ~ H18 年度)
井町 昌弘　山形大学・教授 (H13 ~ H17 年度)
江沢 康生　愛媛大学大学院・教授 (H14 ~ H18 年度)
川村 嘉春　信州大学・助教授 (H15 ~ H18 年度)
米山 博志　佐賀大学・教授 (H13 ~ H14 年度)
原田 恒司　九州大学大学院・助教授 (H13 ~ H14 年度)
川合 栄一郎　愛媛大学・助教授 (H14 年度)

重要な成果

経路積分における補助場の方法がきわめて有効で、見通しのよい方法であることが確立された。Maximum Entropy Method に基づいた解析法を確立した。多次元・高階重力理論に基づいて量子論を目指すため、正準形式の定式化へむけての基礎を固めた。世代の起源を説明する可能性のある様々な 5 次元時空上の大統一理論を見つけ、その構造を反映した超対称化された標準模型の構成粒子の質量間に成立する和則を導くことに成功した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

非可換ゲージ背景場と結合している南部ー Jona-Lasinio 模型の解析を論文として発表した。(柏) トポロジカル項を含む CP^{N-1} 模型の連続極限での数値シミュレーションを行った。(井町・米山) $1/N_c$ 展開をバリオンに適用し、有効場理論の最低次で 3 核子力としてどのようなものがあるのかを調べた。(原田)

平成 14 年度:

グラスマン積分の 4 体項を持つ (= 自明な答えを持つ) 場合に関して補助場の効果を詳しく調べた。(柏) テータ項を含む場の理論の数値的研究における負符号問題に対して、最大エントロピー法による解決を試みる研究を行った。(井町・米山) スピン-フレーバー対称性から、3 核子力が有効場理論の最低次まででどのように振る舞うかを研究した。(原田)

平成 15 年度:

グラスマン積分の 4 体項を持つ場合に関して補助場の効果を調べた (柏) $CP^{(N-1)}$ 理論における複素ボルツマン因子の問題と「最大エントロピー法 (MEM)」の有効性を検討した。(井町) $f(R$) 型、 Ricci テンソルの 2 乗に依存する高階重力理論の正準形式の定式化を行った。(江沢) 高次元時空上の大統一理論の構築・余剰次元として 1 次元オービフォールドを持った 5 次元時空上の大統一理論の境界条件の分類と実現可能性について研究した。(川村)

平成 16 年度:

補助場の方法の有効性を、特に縮退のあるフェルミ系の場合について調べた。(柏) テータ項を含む系フラット化について , Maximum Entropy Method(MEM) による分析を進めた。(井町) 高階重力理論の様々な定式化による Lagrangian 密度の関連をつけた。(江沢) 5 次元時空上の大統一理論についてゲージ場とヒッグス場の統一的記述という観点から、電弱対称性の力学的な崩壊について研究した。(川村)

平成 17 年度:

補助場の方法について、量子力学 (1 次元場の量子論) での 4 体相互作用のフェルミ模型を解析した。(柏) MEM によってえられるさまざまなフィットのカーブが得られるが、すべて、MC シミュレーションがもつ統計誤差の範囲に収まることが明らかになった。(井町) Kaluza-Klein 型の多次元時空で発生した重力波の 4 次元時空における伝播の仕方を調べた。(江沢) 拡張された行列に基づく力学的な理論を提案した。(川村)

平成 18 年度:

補助場の方法のダブルウエル型の時の近似をあげる事を目指して、複数の補助場による系の書き換えと有効性のチェックを行っている。(柏) 多次元時空がコンパクト化する前に発生した重力波に対する extra 次元の曲率の効果を調べている。(江沢) 高次元時空上で定義されたゲージ理論から、軽い 3 世代の物質粒子を導く可能性を指摘。(川村)

査読付国際誌への掲載

[1] R.Burkhalter, M. Imachi, Y. Shinno and H. Yoneyama, CP^{N-1} Models with a θ Term and Fixed Point Action and Fixed Point Action, Progress of Theoretical Physics, **106**(#3) 613∼ 640 (2001).

[2] T.Kashiwa, T. Sakaguchi, Effect of Dynamical $SU(2)$ Gluons to the Gap Equation of Nambu–Jona-Lasinio Model in Constant Non-abelian Background Magnetic Field, Physical Review **D65** (#6) 065025-1∼065025-16 (2002).

[3] Y. Kawamura, Generalized Matrix Mechanics, Progress Theoretical Physics, **107**(# 6) 1105 ∼ 1115(2002).

[4] T.Kashiwa, T. Sakaguchi, Caustics in the Grassmann Integral, Progress of Theoretical Physics, **110** (#3) 589 ∼ 603 (2003).

[5] T.Kashiwa, T. Sakaguchi, Auxiliary Field Method in 4- and 3- dimensional Nambu–Jona-Lasinio Models, Physical Review **D 68** (# 6) 065002- 1∼ 065002-9(2003).

[6] Tadashi Yano, Yasuo Ezawa, Takeshi Wada, Hiroshi Ezawa, Can Milne's method work well for the Coulomb-like potentials?, Journal of Computational and Applied Mathematics **152** (#1,2) 597∼611 (2003).

[7] Y. Ezawa, H.Iwasaki, M.Ohmori, S.Ueda, N.Yamada and T.Yano, Cosmology in a higher-curvature gravity, Classical and Quantum Gravity **20** (#22) 4933∼4942 (2003).

[8] Y. Kawamura, Structure of Cubic Matrix Mechanics, Progress of Theoretical Physics, **109** (#1) 1 ∼ 10 (2003).

[9] Y. Kawamura, Cubic Matrix , Nambu Mechanics and Beyond, Progress of Theoretical Physics, **109** (#2) 153 ∼ 168 (2003).

[10] N. Haba, M. Harada, Y. Hosotani and Y. Kawamura, Dynamical rearrangement of gauge symmetry on the orbifold S^1/Z_2, Nuclea Physics **B 657**(# 6) 169 ∼ 213(2003).

[11] Y. Kawamura, Cubic Matrices, Generalized Spin Algebra and Uncertainty Relation, Progress of Theoretical Physics, **110** (#3) 579 ∼ 583 (2003).

[12] M. Imachi, Y. Shinno and H. Yoneyama, Maximum Entropy Method Approach to the θ-term, Progress of Theoretical Physics, **113**(#3) 387 ∼ 411 (2004).

[13] Y. Ezawa, H. Iwasaki, Y. Ohkuwa, T. Uegaki, N. Yamada and T. Yano, Interpretation of the first-order formalism of f(R)-type gravity and the corresponding second-order formalism, Nuovo Cimento, **119B** (#12) 1141∼1148 (2004).

[14] N. Haba, Y. Hosotani and Y. Kawamura, Classification and dynamics of equivalence classes in SU(N) gauge theory on the orbifold S1/Z2, Progress of Theoretical Physics, **111**(#2) 265 ∼ 289 (2004).

[15] T. Higaki, Y. Kawamura, T. Kobayashi and H. Nakano, Anomalous U(1) D-term Contribution in Type I String Models, Physical Review **D 69** (# 8) 086004- 1∼ 086004-12(2004).

[16] T. Higaki, Y. Kawamura, T. Kobayashi and H. Nakano, Non-perturbative K?hler potential, dilaton stabilization and Fayet-Iliopoulos term, Physics Letters **B582**(# 3,4) 257∼ 262 (2004).

[17] Y. Kawamura, Generalized Heisenberg Dynamics, Progress of Theoretical Physics, **112** (#2) 299 ∼ 306 (2004).

[18] M. Imachi, Y. Shinno and H. Yoneyama, MEM study of true flattening of free energy and the the θ term, Nuclea Physics **B 40** 617 $\sim$ 619 (2005).

[19] Y. Kawamura, Dynamical Theory of Generalized Matrices, Progress of Theoretical Physics, **114** (#3) 669 $\sim$ 693 (2005).

[20] Y. Ezawa, H. Iwasaki, Y. Ohkuwa, T. Watanabe, N. Yamada and T. Yano, A canonical formalism of f(R)-type gravity in terms of Lie derivatives, Classical and Quantum Gravity **23** (#7) 3205$\sim$ 3214 (2006).

[21] T.Kashiwa, T. Sakaguchi, The Auxiliary Field Method in Quantum Mechanical Four-Fermi Models? A Study Toward Chiral Condensation in QED - , Journal of Physics B: At. Mol. Opt. Phys. **39** S787-S811 (2006).

国際会議招待講演

[1] T. Kashiwa, "Two-loop Gap Equation in the Nambu-Jona-Lasinio Model Coupled to SU(2) Gauge Fields with Constant Backgrounds", XXIII International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics, 2000 年 8 月 3 日.

[2] T. Kashiwa, "Lectures on Introduction to the Gauge Field Theories", VII Vietnam school of physics, 2000 年 12 月 22 日　26 日.

学会発表

[1] 井町昌弘,米山博志, 新野康彦,R.Burkhalter,「θ 項を含む 2 次元 CP^{n-1} 模型におけるスケーリング」, 日本物理学会 第 55 回年次大会, 2000 年 9 月 23 日.

[2] 柏太郎, 坂口智彦,「NJL 模型における補助場の量子効果の Gap 方程式への反映」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 23 日.

[3] 井町昌弘,米山博志, 新野康彦, 牟田尚洋,「θ 項を含む格子場の理論」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[4] 柏太郎, 坂口智彦,「４体フェルミ型相互作用と補助場」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 27 日.

[5] 川村嘉春,「一般化された行列力学について」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 2002 年 9 月 13 日.

[6] 細谷裕、原田真臣、波場直之、川村嘉春,「Orbifold 上の細谷機構」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 29 日.

[7] 井町昌弘, 米山博志, 新野康彦,「θ 項を含む格子場の理論への最大エントロピー法によるアプローチ II」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 10 日.

[8] 桧垣徹太郎、川村嘉春、小林達夫、中野博章,「Non-perturbative Kaehler Potential, Dilaton Stabilization and Fayet-Iliopoulos Term」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[9] 柏太郎, 坂口智彦,「４体相互作用をもつ量子力学における補助場の方法の有効性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[10] 井町昌弘, 米山博志, 新野康彦,「θ 項を含む格子場の理論における MEM を用いた分配関数の計算」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[11] 波場直之、細谷裕、川村嘉春、山下敏史,「Dynamical symmetry breaking in gauge-Higgs unification on orbifold」, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 2004 年 9 月 29 日.

[12] 井町昌弘, 米山博志, 新野康彦, 「MEM による θ 項を含む CP^{n-1} 模型の分配関数の計算」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[13] 井町昌弘, 米山博志, 新野康彦, 「負符号問題と最大エントロピー法」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 13 日.

[14] 川村嘉春, 尾田欣也, 「オービフォールドに基づく世代の起源の解明に向けて」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

[15] 川村嘉春, 木南哲平, 「Sparticle sum rules as probes of the MSSM and beyond」, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月 27 日.

計画班: C15

研究課題名: 大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究

研究代表者: 青木 慎也　筑波大学大学院・教授
太田 滋生　高エネルギー加速器研究機構・助教授
岩崎 洋一　筑波大学・学長 (H16 年度まで)・教授
大川 正典　広島大学・教授 (H14 年度まで)

重要な成果

もっとも重要な研究成果は、今までの格子 QCD の数値計算の主流であったクエンチ近似を乗り越えて、力学的クォークの寄与を含んだ格子 QCD の計算を研究のスタンダードにしたことである。 2 つの軽い力学的クォークの寄与を含んだ計算を完成させ力学的クォークの重要性を世界に示した。さらに、ストレンジクォークの寄与を含んだ「完全な QCD」での計算を行い、それが可能であることを実証した。現在、クォーク質量をより軽くし、「完全な QCD」での計算の完成を目指している。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
(1) 2 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の進展。(2) カイラル対称性の良いドメインウォール・クォークを用いた核子の励起状態の研究の開始。(3) 重いクォークの物理の研究の開始。

平成 14 年度:
(1) 2 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の完了。(2) ドメインウォール・クォークを用いた核子の励起状態の研究の完了。(3) ドメインウォール・クォークを用いた K 中間子の B パラメタの計算。(4) 動的クォークの効果を取り入れた有限温度の状態方程式の計算。(5) 重いクォークの物理の研究の開始の進展。(6) 最大エントロピー法のよるハドロンのスペクトル関数の研究。

平成 15 年度:
(1) 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の開始。(2) 格子フェルミオンによるカイラル対称性の破れの効果を取り入れた新しいカイラル摂動論の定式化の提唱。(3) ドメインウォール・クォークを用いた核子の軸性電荷や構造関数の計算。

平成 16 年度:
(1) 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の進展。(2) 新しいカイラル摂動論の有効性の確認。(3) ドメインウォール・クォークを用いた 2 つの動的クォークの効果を含んだ格子 QCD の研究。

平成 17 年度:
(1) 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の進展。(2) 新しいカイラル摂動論の 3 フレーバーへの拡張。(3) ドメインウォール・クォークを用いた 3 つの動的クォークの効果を含んだ格子 QCD の研究の開始。(4) 格子 QCD による中性子電気双極子能率の研究の開始。(5) 新しいカイラル摂動論による twisted-mass QCD の解析。

平成 18 年度:
(1) より軽い 3 つの動的クォークの効果を取り入れた格子 QCD の研究の準備と研究の開始。(2) 新しいカイラル摂動論のベクター中間子への拡張。(3)twisted-mass QCD に対する $O(a)$ 改良の証明。(4) ドメインウォール・クォークを用いた 3 つの動的クォークの効果を含んだ格子 QCD の研究の進展。(5) 重いクォークの物理の研究の進展。(6) 格子 QCD による中性子電気双極子能率の研究の進展。(7) 厳密なカイラル対称性を持つクォーク作用による力学的効果を取り入れた格子 QCD の研究の開始。(8) 格子 QCD による核力の研究。

査読付国際誌への掲載

[1] A. Ali Khan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai M. Okawa, H. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "B meson decay constant from two-flavor lattice QCD with non-relativistic heavy quarks", Phys. Rev. D64(2001)054504.

[2] A. Ali Khan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K.-I. Nagai, J. Noaki, M. Okamoto, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "Equation of state in finite-temperature QCD with two flavors of improved Wilson quarks", Phys. Rev. D64(2001)074510 .

[3] Y. Namekawa, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, V. Lesk, M. Okamoto, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "Thermodynamics of SU(3) gauge theory on anisotropic lattices", Phys. Rev. D64(2001)074507.

[4] A. Ali Khan, S. Aoki, G. Boyd, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "Light Hadron Spectroscopy with Two Flavors of Dynamical Quarks on the Lattice", Phys.Phys. Rev. D65(2002)054505.

[5] A. Ali Khan, S. Aoki, Y. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, T. Izubuchi, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K. I. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "'Kaon B parameter from quenched domain-wall QCD", Phys. Rev. D64(2001)114506.

[6] T. Yamazaki, S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie(CP-PACS Collaboration), "Spectral function and excited states in lattice QCD with maximum entropy method", Phys. Rev. D65 (2002) 014501.

[7] A. Ali Khan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Topological Susceptibility in Lattice QCD with Two Flavors of Dynamical Quarks", Phys. Rev. D64(2001)114501.

[8] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M.Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD collaboration), "Differential decay rate of $B \to \pi l \nu$ semileptonic decay with lattice NRQCD", Phys. Rev. D64(2001)114505.

[9] Sinya Aoki, Yoshinobu Kuramashi, Shin-ichi Tominaga, "Relativistic Heavy Quarks on the Lattice", Prog.Theor.Phys. 109 (2003) 383-413.

[10] J-I.Noaki, S.Aoki, Y.Aoki, R.Burkhalter, S.Ejiri, M.Fukugita, S.Hashimoto, N.Ishizuka, Y.Iwasaki, T.Izubuchi, K.Kanaya, T.Kaneko, Y.Kuramashi, V.Lesk, K.I.Nagai, M.Okawa, Y.Taniguchi, A.Ukawa, T.Yoshie (CP-PACS Collaboration), " Calculation of Non-Leptonic Kaon Decay Amplitudes from $K \to \pi$ Matrix Elements in Quenched Domain-Wall QCD", Phys. Rev. D68 (2003) 014501.

[11] S. Aoki, Y. Taniguchi, "Chiral properties of domain-wall fermions from eigenvalues of 4 dimensional Wilson-Dirac operator", Phys. Rev. D65 (2002) 074502.

[12] M. Okamoto, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, V. Lesk, K. Nagai, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), " Charmonium Spectrum from Quenched Anisotropic Lattice QCD" , Phys. Rev. D65 (2002) 094508.

[13] S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, "Polynomial Hybrid Monte Carlo algorithm for lattice QCD with odd number of flavors", Phys. Rev. D65 (2002) 094507.

[14] Shoichi Sasaki, Tom Blum, Shigemi Ohta, "A Lattice Study of the Nucleon Excited States with Domain Wall Fermions", Phys.Rev. D65 (2002) 074503.

[15] T. Blum, P. Chen, N. Christ, C. Cristian, C. Dawson, G. Fleming, R. Mawhinney, S. Ohta, G. Siegert, A. Soni, P. Vranas, M. Wingate, L. Wu, Y. Zhestkov (RBC Collaboration), "Kaon Matrix Elements and CP-violation from Quenched Lattice QCD: (I) the 3-flavor case", Phys.Rev. D68 (2003) 114506.

[16] S. Aoki, G. Boyd, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Light Hadron Spectrum and Quark Masses from Quenched Lattice QCD", Phys. Rev. D67 (2003) 034502.

[17] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD Collaboration), "I=2 Pion Scattering Length with the Wilson Fermion", Phys. Rev. D66 (2002) 077501.

[18] Sinya Aoki, Taku Izubuchi, Yoshinobu Kuramashi, Yusuke Taniguchi, "Perturbative renormalization factors in domain-wall QCD with improved gauge actions", Phys. Rev. D67 (2003) 094502 .

[19] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie, "$B^0 - \bar{B}^0$ mixing in quenched lattice QCD", Phys. Rev. D67 (2003) 014506.

[20] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD Collaboration), "An Exact Algorithm for Any-flavor Lattice QCD with Kogut-Susskind Fermion", Comput. Phys. Commun. 155 (2003) 183-208.

[21] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, V. Lesk, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie □ (CP-PACS Collaboration), "I=2 Pion Scattering Phase Shift with Wilson Fermions", Phys. Rev. D67 (2003) 014502.

[22] V. I. Lesk, S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Umeda, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Flavor Singlet Meson Mass in the Continuum Limit in Two-Flavor Lattice QCD" , Phys. Rev. D67 (2003) 074503.

[23] S.Aoki, R.Burkhalter, M.Fukugita, S.Hashimoto, K-I.Ishikawa, N.Ishizuka, Y.Iwasaki, K.Kanaya, T.Kaneko, Y.Kuramashi, M.Okawa, T.Onogi, N.Tsutsui, A.Ukawa, N.Yamada, T.Yoshie (JLQCD Collaboration), "Light hadron spectroscopy with two flavors of $O(a)$-improved dynamical quarks", Phys. Rev. D68 (2003) 054504.

[24] T. Umeda, S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, Y. Kuramashi, V. I. Lesk, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Two flavors of dynamical quarks on anisotropic lattices", Phys. Rev. D68 (2003) 034503.

[25] Y. Aoki, T. Blum, N. Christ, C. Cristian, C. Dawson, T. Izubuchi, G. Liu, R. Mawhinney, S. Ohta, K. Orginos, A. Soni, L. Wu, "Domain wall fermions with improved gauge actions", Phys.Rev. D69 (2004) 074504.

[26] Shinji Takeda, Sinya Aoki, Kiyotomo Ide, "A perturbative determination of O(a) boundary improvement coefficients for the Schrödinger Functional coupling at 1-loop with improved gauge actions", Phys. Rev. D68 (2003) 014505.

[27] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD Collaboration), "Heavy quark expansion parameters from lattice NRQCD", Phys. Rev. D69 (2004) 094512.

[28] Sinya Aoki and Yoshinobu Kuramashi, "The Lattice Λ Parameter in Domain Wall QCD", Phys. Rev. D68 (2003) 034507 (hep-lat/0306008).

[29] Sinya Aoki and Yoshinobu Kuramashi, "Determination of the Improvement Coefficient $c_{\rm SW}$ up to One-Loop Order with the Conventional Perturbation Theory", Phys. Rev. D68 (2003) 094019 .

[30] Sinya Aoki, "Chiral perturbation theory with Wilson-type fermions including a^2 effects: $N_f = 2$ degenerate case", Phys. Rev. D68 (2003) 054508.

[31] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD Collaboration), "B-Bbar mixing in unquenched lattice QCD", Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 212001.

[32] Sinya Aoki, Yasuhisa Kayaba, Yoshinobu Kuramashi, "A Perturbative Determination of Mass Dependent $O(a)$ Improvement Coefficients in a Relativistic Heavy Quark Action", Nucl. Phys. B697 (2004) 271-301.

[33] S. Aoki, M. Fukugita, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Non-perturbative calculation of Z_V and Z_A in domain-wall QCD on a finite box", Phys. Rev. D70 (2004) 034503.

[34] Sinya Aoki, Yasuhisa Kayaba, Yoshinobu Kuramashi, "Perturbative Determination of Mass Dependent $O(a)$ Improvement Coefficients for the Vector and Axial Vector Currents with a Relativistic Heavy Quark Action", Nucl. Phys. B689 (2004) 127-156.

[35] T. Yamazaki, S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "I=2 $\pi\pi$ Scattering Phase Shift with two Flavors of $O(a)$ Improved Dynamical Quarks", Phys.Rev. D70 (2004) 074513.

[36] N. Tsutsui, S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS, JLQCD Collaborations), "Lattice QCD calculation of the proton decay matrix element in the continuum limit", Phys.Rev. D70 (2004) 111501.

[37] Shoichi Sasaki, Kostas Orginos, Shigemi Ohta, Tom Blum (RBCK Collaboration), "Nucleon axial charge from quenched lattice QCD with domain wall fermions", Phys.Rev. D68 (2003) 054509.

[38] Y. Namekawa, S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, V. I. Lesk, M. Okawa, A. Ukawa, T. Umeda, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration) , "Light hadron spectroscopy in two-flavor QCD with small sea quark masses", Phys.Rev. D70 (2004) 074503 .

[39] K. Ide, S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.-I. Ishikawa T. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, V. Lesk, M. Okawa, Y. Taniguchi, T. Umeda, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "Non-perturbative renormalization of meson decay constants in quenched QCD for a renormalization group improved gauge action", Phys.Rev. D70 (2004) 074502 .

[40] N. Yamada, S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, N. Tsutsui, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS, JLQCD Collaborations), "Non-perturbative O(a)-improvement of Wilson quark action in three-flavor QCD with plaquette gauge action", Phys.Rev. D71 (2005) 054505 .

[41] Norikazu Yamada, Sinya Aoki, Yoshinobu Kuramashi, "Perturbative determination of mass dependent renormalization and improvement coefficients for the heavy-light vector and axial-vector currents with relativistic heavy and domain-wall light quarks", Nucl. Phys. B713 (2005) 407-437 .

[42] S. Takeda, S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), "A scaling study of the step scaling function in SU(3) gauge theory with improved gauge actions" , Phys.Rev. D70 (2004) 074510 .

[43] Sinya Aoki, Oliver Bär, "Twisted-mass QCD, O(a) improvement and Wilson chiral perturbation theory", Phys.Rev. D70 (2004) 116011 .

[44] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (JLQCD collaboration), "Bulk first-order phase transition in three-flavor lattice QCD with $O(a)$-improved Wilson fermion action at zero temperature", Phys.Rev. D72 (2005) 054510 .

[45] S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yamazaki, T. Yoshie (CP-PACS collaboration), "I=2 Pion Scattering Length from Two-Pion Wave Functions", Phys.Rev. D71 (2005) 094504 .

[46] Y. Aoki, T. Blum, N. Christ, C. Dawson, K. Hashimoto, T. Izubuchi, J.W. Laiho, L. Levkova, M. Lin, R. Mawhinney, J. Noaki, S. Ohta, K. Orginos, A. Soni, Lattice QCD with two dynamical flavors of domain wall quarks, Phys.Rev. D72 (2005) 114505.

[47] E. Shintani, S. Aoki, N. Ishizuka, K. Kanaya, Y. Kikukawa, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Tanigchi, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS collaboration), "Neutron electric dipole moment from lattice QCD", Phys.Rev. D72 (2005) 014504 .

[48] S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, S. Takeda, Y. Taniguchi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshie (CP-PACS/JLQCD collaborations) , "Nonperturbative $O(a)$ improvement of the Wilson quark action with the RG-improved gauge action using the Schrödinger functional method" , Phys.Rev. D73 (2006) 034501 .

[49] S. Aoki, O. Bär, T. Ishikawa, S. Takeda, "Pseudo scalar meson masses in Wilson Chiral Perturbation Theory for 2+1 flavors" , Phys.Rev. D73 (2006) 014511 .

[50] S. Aoki, O. Bär, S. Takeda, "Vector meson masses in 2+1 flavor Wilson Chiral Perturbation Theory", Phys.Rev. D73 (2006) 094501 .

[51] Kostas Orginos, Thomas Blum, Shigemi Ohta, "Nucleon structure functions with domain wall fermions", Phys.Rev. D73 (2006) 094503.

[52] Y. Aoki, T. Blum, N. H. Christ, C. Dawson, T. Izubuchi, R. D. Mawhinney, J. Noaki, S. Ohta, K. Orginos, A. Soni, N. Yamada, "The Kaon B-parameter from Quenched Domain-Wall QCD", Phys.Rev. D73 (2006) 094507 .

[53] S. Aoki, O. Bär, "Automatic O(a) improvement for twisted-mass QCD in the presence of spontaneous symmetry breaking", Phys.Rev. D74 (2006) 034511.

[54] E. Shintani, S. Aoki, N. Ishizuka, K. Kanaya, Y. Kikukawa, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yoshié, "Neutron electric dipole moment with external electric field method in lattice QCD", Phys.Rev. D75 (2007) 034507.

[55] Y. Kayaba, S. Aoki, M. Fukugita, Y. Iwasaki, K. Kanaya, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T.Yoshie (CP-PACS Collaboration), "First Nonperturbative Test of a Relativistic Heavy Quark Action in Quenched Lattice QCD", JHEP02 (2007) 019.

[56] Y. Maezawa, N. Ukita, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, " Heavy-Quark Free Energy, Debye Mass, and Spatial String Tension at Finite Temperature in Two Flavor Lattice QCD with Wilson Quark Action", Phys. Rev. D75(2007) 074501.

[57] Huey-Wen Lin, Shigemi Ohta, Amarjit Soni, Norikazu Yamada, "Charm as a domain wall fermion in quenched lattice QCD", Phyr. Rev. D73 (2006) 094503.

C15

国際会議招待講演

[1] Sinya AOKI, "Domain-wall fermions and chiral symmetries ", Workshop on Lattice Hadron Physics, 2001 年 7 月 9 日-18 日.

[2] Sinya AOKI, "Unquenched Lattice Calculations: Results and Perspectives", DESY Theory Workshop 2002 "Quantum Chromodynamics", 2002 年 9 月 24 日-27 日.

[3] Youichi IWASAKI, "Phase Structure of Lattice QCD for Many Flavors", International Workshop on Strong Coupling Gauge Theories (SCGT02), 2002 年 12 月 10 日-13 日.

[4] Sinya AOKI, "Chiral perturbation theory with Wilson-type fermions including a^2 effects", 2nd Cairns Topical Workshop on Lattice Hadron Physics, 2003 年 7 月 22 日-30 日.

[5] Sinya AOKI, "Twisted mass QCD, $O(a)$ improvement and WCPT", International Workshop "Quantum Fields in the Era of Teraflop-Computing", 2004 年 11 月 22 日-25 日.

[6] Sinya AOKI, “Chiral perturbation theory for Wilson-type fermions”, German-Japanese Symposium “Towards Precision Physics from Lattice QCD”, 2004 年 11 月 25 日-29 日.

[7] Sinya AOKI, “Neutron electric dipole moment with domain-wall QCD”, 2nd International Lattice Field Theory Network Workshop “From Actions to Experiment”, 2005 年 3 月 7 日-10 日.

[8] Sinya AOKI, “Chiral Perturbation theory and tmQCD”, Workshop on “Twisted mass QCD”, 2005 年 3 月 14 日-15 日.

[9] Sinya AOKI, “QCD Phases in Lattice QCD”, QCD and Hadronic Physics, 2005 年 6 月 16 日-20 日.

[10] Sinya AOKI, “Intoruction to Lattice Field Theories”, 2005 Taipei Summer Institute on Strings, Particles and Fields (TSI2005), 2005 年 8 月 17 日-19 日.

[11] Sinya AOKI, “Wilson Chiral Perturbation Theory and the Bending Phenomenon in Twisted-mass Lattice QCD”, 3rd International Lattice Field Theory Network Workshop “Future Opportunities: Ab Initio Calculations at the Physical Quark Masses”, 2005 年 10 月 3 日-6 日.

[12] Sinya AOKI, “A comment on automatic $O(a)$ improvement for twisted-mass QCD”, “Chiral Perturbation Theory Confronts Lattice QCD”, 2005 年 11 月 29 日-30 日.

[13] Shigemi OHTA, “Numerical Lattice QCD wuth QCDSP and QCDOC computers”, ICCSE 2005, 2005 年 6 月.

[14] HueyWen LIN, Shigemi OHTA, and Norikazu YAMADA, “Charm mesons with DWF quarks on a quenched 3 GeV lattice”, Computational Hadron Physics Workshop, 2005 年 9 月 15 日.

[15] Sinya AOKI, “Light quarks on the lattice”, “RHIC Physics in the Context of the Standard Model”, 2006 年 6 月 19 日-23 日, 理研 BNL 研究センター、ニューヨーク、アメリカ.

[16] Sinya AOKI, “Lattice QCD simulations with light dynamical quarks”, “Quark Confinement and Hadron Structure VII”, 2006 年 9 月 2 日-7 日,Universidade dos Azores 、Ponta Delgada、ポルトガル.

[17] Sinya AOKI, “Chiral Perturbation Theory and Lattice QCD with Wilson-type Quarks”, Workshop on “Lattice QCD, Chiral Perturbation Theory and Hadron Phenomenology ”, 2006 年 10 月 2 日-6 日, ECT*、トレント、イタリア.

国内会議招待講演

[1] 青木慎也, 「格子理論による素粒子標準模型の検証に向けて」, 筑波大学計算物理学研究センター研究会「計算科学の展望 - 計算物理学研究センター 10 周年シンポジウム」, 2002 年 2 月 21 日-22 日.

[2] 青木慎也, 「格子場の理論の基礎理論」, 基研研究会「格子場の理論スクール」, 2002 年 10 月 21 日-25 日.

学会発表

[1] 太田滋生, 「Nucleon structure from lattice QCD with domain wall fermions quarks」, 日本物理学会 第 2 回日米物理学会合同核物理分科会, 2005 年 9 月 22 日.

C15

ホームページの公開

[1] http://physics.px.tsukubax.ac.jp/thep/saoki/saoki-J.html

[2] http://www-het.ph.tsukubax.ac.jp/

[3] http://www-lib.kek.jp/research/ohta_shigemi.html

計画班: C16

研究課題名: ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ

研究代表者: 藤原 高徳　茨城大学・教授
近藤 慶一　千葉大学・助教授
菊川 芳夫　東京大学・助教授
鈴木 博　理化学研究所・専任研究員

重要な成果

Ginsparg-Wilson 関係式を満たす格子 Dirac 演算子に基づくカイラル対称な格子ゲージ理論について研究し、理論の力学的側面と格子ゲージ場の配位空間の位相構造の関係を明らかにし、U(1) カイラル格子ゲージ理論の構成法を簡単化した。これを応用して $SU(2) \times U(1)$ 電弱格子ゲージ理論におけるフェルミオン測度を具体的に構成した。また、2 次元 $N = (2, 2)$ 超対称 Yang-Mills 理論など低次元超対称ゲージ理論の格子定式化への一つの道筋を提案した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

格子ゲージ理論における Ginsparg-Wilson 関係式を満たす Dirac 演算子によるカイラルなゲージ理論の位相的構造とアノマリー、Yang-Mills 理論における質量次元 2 の複合演算子の真空凝縮等の研究を行い、格子カイラル・ゲージ理論の定式化に対するアノマリーの影響の解明、Yang-Mills 理論におけるクォークの閉じ込めの新たな解釈の可能性等の成果が得られた。

平成 14 年度:

5 次元格子 Domain wall fermion の低エネルギー有効作用、Large N reduced model におけるフェルミオンの定式化、Weinberg-Salam 理論の格子定式化等の研究を行い、ゲージ不変な 4 次元 Weyl fermion の有効作用の新しい構成法、Large N reduced model における非自明なカイラルアノマリーの効果の発見等の成果を得た。

平成 15 年度:

縮小模型 (reduced model) におけるカイラルアノマリーの実現、有効場理論に基づく質量次元 2 のグルーオン– ゴースト場複合演算子の真空凝縮の解析等を行い、U(1) embedding の一般の表現への拡張、連立 Schwinger-Dyson 方程式のセルフ・コンシステントな解としての非摂動的ベキ補正と質量次元 2 の真空凝縮の存在の可能性の解明等の成果を得た。

平成 16 年度:

カイラル対称な格子正準理論、格子上のマヨラナおよびマヨラナワイルフェルミオンの定式化、格子カイラル U(1) 理論の数値的構成、クォーク閉じ込めと真空の安定性等の研究を行い、格子カイラルアノマリーの導出、マヨラナおよびマヨラナワイルフェルミオンの格子定式化の解明、カイラル格子ゲージ理論における局所コホモロジー問題の解明とその数値計算、十分大きな動力学的質量のグルーオンの出現とタキオンモードの相殺等の成果を得た。

平成 17 年度:

一様な背景磁場のあるトーラス上の Dirac 理論、 4 次元の Wess-Zumino 模型の格子定式化、 2 次元の N=2 超対称ヤンミルズ理論の解析、マヨラナフェルミオンに付随した大局的ゲージアノマリーの解析、アノマリーのあるカイラルゲージ理論の格子定式化に関する研究を行い、 0 モード解の構成、超対称な理論の格子定式化における繰り込み可能性等の成果を得た。

平成 18 年度:

一様な背景磁場のあるトーラス上の Dirac 理論のスペクトルとその応用、非線形変数変換に基づく Yang-Mills 理論の再定式化の格子上での実現、SU(2)xU(1) 電弱格子ゲージ理論におけるゲージ不変なフェルミオン経路積分測度の構成、背景重力場中のカイラル対称な格子フェルミ場理論の定式化、等の成果を得た。

査読付国際誌への掲載

[1] T. Fujiwara, H. Suzuki and K. Wu, "Topological charge of lattice Abelian gauge theory", Prog. Theor. Phys., 105 (2001)789-807.

[2] S. J. Gates, Jr., M. T. Grisaru, M. E. Knutt , S. Penati and H. Suzuki, "Supersymmetric gauge anomaly with general homotopic paths", Nucl. Phys. B596, 315-347 (2001).

[3] Y. Kikukawa and Y. Nakayama, "Gauge anomaly cancellations in SU(2)(L) x U(1)(Y) electroweak theory on the lattice", Nucl. Phys. B597, 519-536 (2001).

[4] T. Fujiwara, "A Numerical Study of Spectral Flows of the Hermitian Wilson-Dirac Operator and the Index Theorem in Abelian Gauge Theories on Finite Lattices", Prog. Theor. Phys., 107 (2002)163-175.

[5] T. Fujiwara,, "Spectrum of the Hermitian Wilson-Dirac Operator for a Uniform Magnetic Field in Two Dimensions", Int. J. Mod. Phys. B16 (2002) 1943-19503.

[6] T. Fujiwara, K. Nagao and H. Suzuki, "Axial anomaly with the overlap Dirac operator in arbitrary dimensions", Journal of High Energy Physics 0209 (2002) 025.

[7] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki, "Ginsparg-Wilson operators and a no go theorem", Phys. Lett. B538 (2002) 197-201.

[8] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki, "CP breaking in lattice chiral gauge theories", Jounal of High Energy Physics 0204 046 (2002).

[9] H. Igarashi, K. Okuyama, H. Suzuki, "More about the axial anomaly on the lattice", Nuclear Physics B 644 (2002) 383-394.

[10] Y. Kikukawa and H. Suzuki, "Chiral anomalies in the reduced model", Journal of High Energy Physics 0209 (2002) 032.

[11] Y. Kikukawa, Y. Nakayama and H. Suzuki, "On the lattice construction of electroweak gauge theory", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 106 (2002) 763-765.

[12] Y. Kikukawa, "Analytic progress on exact lattice chiral symmetry", Nucl. Phys. Proc. Suppl. 106 (2002) 71-79.

[13] Y. Kikukawa, "Domain wall fermion and chiral gauge theories on the lattice with exact gauge invariance", Phys.Rev. D65 (2002) 074504.

[14] K.-I. Kondo, T. Murakami, T. Shinohara and T. Imai, "Renormalizing a Becchi-Rouet-Stora-Tyutin-invariant composite operator of mass dimension 2 in Yang-Mills theory", Phys. Rev. D65 (2002) 085034.

[15] H. Kurokawa and T. Fujiwara, "Spectrum of the Hermitian Wilson-Dirac Operator for a Uniform Magnetic Field in Two Dimensions", Phys.Rev.D67:025015(2003).

[16] T. Fujiwara, K. Matsui, H. Suzuki and M. Yamamoto, "Wess-Zumino-Witten term on the lattice", Journal of High Energy Physics 0309 (2003) 015.

[17] K. Fujikawa and H. Suzuki, "Domain wall fermion and CP symmetry breaking", Phys. Rev. D 67 (2003) 034506.

[18] T. Inagaki, Y. Kikukawa and H. Suzuki, "Axial anomaly in the reduced model: Higher representations", Journal of High Energy Physics 0305 (2003) 042.

[19] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H Suzuki, "CP breaking in lattice chiral gauge theory", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 119 (2003) 781-783.

[20] H Suzuki, "Chiral anomalies in the reduced (or matrix) model", Nagoya 2002, Strong coupling gauge theories and effective fieldtheories (2003) 227-233.

[21] K.-I. Kondo, "Infrared and ultraviolet asymptotic solutions to gluon and ghost propagators in Yang-Mills theory", Phys. Lett. B551 (2003) 324-336.

[22] K.-I. Kondo, "Consistent power corrections to ultraviolet asymptotic solutions in Yang-Mills theory", Phys. Lett. B560 (2003) 44-58 .

[23] T. Shinohara, T. Imai and K.-I. Kondo, "The most general and renormalizable maximal Abelian gauge", Intern. J. Mod. Phys. A18, No.31 (2003) 5733-5756.

[24] K.-I. Kondo, "A physical meaning of mixed gluon–ghost condensate of mass dimension two", Phys. Lett. B572 (2003) 210-215.

[25] K.-I. Kondo, T. Imai, H. Kato, T. Murakami and T. Shinohara, "Mass gap and quark confinement due to a novel vacuum condensate in Yang-Mills theory", Nucl. Phys. A 721, 891c-894c (2003).

[26] K.-I. Kondo, "Mass gap and quark confinement in Yang-Mills theory", Proceedings of Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories (SCGT 02), Nagoya, Japan, 10-13 December 2002, ed. by M. Harada, Y. Kikukawa and K. Yamawaki (World Scientific Pub., Singapore, 2003), pp.60-66.

[27] K.-I. Kondo, "Vacuum condensates, effective gluon mass and color confinement", Proceedings of International Conference on Color Confinement and Hadrons in Quantum Chromodynamics (Confinement 2003), The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Wako, Japan, July 21-24, 2003, ed. by H. Suganuma, M. Oka (World Scientific Pub., Singapore, 2004).

[28] K. Fujikawa, H. Suzuki, "Anomalies, local counter terms and bosonization", Phys. Rept., 398, 221-243(2004) .

[29] T. Inagaki, Y. Kikukawa and H. Suzuki, "Axial anomaly in the reduced model: Higher representations", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 129 (2004) 504-506.

[30] T. Inagaki and H. Suzuki, "Majorana and Majirana-Weyl fermions in lattice gauge theory", Journal of High Energy Physics 07 (2004) 038.

[31] H. Suzuki, "A no-go theorem for the Majorana fermion on the lattice", Prog. Theor. Phys., 112, 855-861,(2004) .

[32] D. Kadoh, Y. Kikukawa and Y. Nakayama, "Solving the local cohomology problem in U(1) chiral gauge theories within a finite lattice", Journal of High Energy Physics 12 (2004) 006.

[33] K.-I. Kondo, "Gluon and ghost propagators from the viewpoint of general priciples of quantized gauge field theories", Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.), 129-130C (2004) 715-717.

[34] D. Kadoh and Y. Kikukawa, "A numerical solution to the local cohomology problem in U(1) chiral gauge theories", Journal of High Energy Physics 01(2005) 024.

[35] S. Kato and K.-I. Kondo, "Understanding the U(1) problem through the dyon configuration in the Abelian projection", Phys. Rev. D Vol.71, 114019 (2005).

[36] K.-I. Kondo, "Weak gauge-invariance of dimension two condensate in Yang-Mills theory", Phys. Lett., B619 (2005) 377-386.

[37] K.-I. Kondo, T. Murakami and T. Shinohara, "BRST quantization of the Yang–Mills theory in the Cho–Faddeev–Niemi decomposition", Eur. Phys. J. C 42, 475–481 (2005).

[38] K. Matsui, T. Okamoto and T. Fujiwara, "Canonical approach to Ginsparg-Wilson fermion", Phys. Rev. D71, 114501 (2005) .

[39] H. Suzuki and Yusuke Taniguchi, "Two-dimensional N = (2,2) super Yang-Mills theory on the lattice via dimensional reduction", Jounal of High Energy Physics 10 (2005) 082.

[40] T. Fukui, Y. Hatsugai and H. Suzuki, "Chern numbers in a discretized Brillouin zone: Efficient method to compute (spin) Hall conductances", J. Phys. Soc. Jap.74, 1674-1677 (2005).

[41] Y. Kikukawa and H. Suzuki, "A Local formulation of lattice Wess-Zumino model with exact U(1)(R) symmetry", Jounal of High Energy Physics 02 (2005) 012.

[42] Kosuke Matsui, Hiroshi Suzuki, "Anomalous gauge theory revisited", Jounal of High Energy Physics 01 (2005) 051.

[43] H. So and H. Suzuki, "Zero-dimensional analogue of the global gauge anomaly", Prog. Theor. Phys. 115, 467-471 (2006).

[44] S. Kato, K.-I. Kondo, T. Murakami, A. Shibata, T. Shinohara and S. Ito, "Lattice construction of Cho–Faddeev–Niemi decomposition and gauge invariant monopole", Phys. Lett. B 632, 326–332 (2006).

[45] K.-I. Kondo, T. Murakami and T. Shinohara, "Yang–Mills theory constructed from Cho–Faddeev–Niemi decomposition", Prog. Theor. Phys. 115, No.1, pp.201–216 (2006).

[46] S. Ito, S. Kato, K.-I. Kondo, T. Murakami, A. Shibata and T. Shinohara, "Compact lattice formulation of Cho-Faddeev-Niemi decomposition: String tension from magnetic monopoles", Phys. Lett. B 645, 67–74 (2007).

[47] K.-I. Kondo, A. Ono, A. Shibata, T. Shinohara and T. Murakami, "Glueball mass from quantized knot solitons and gauge-invariant gluon mass", J. Phys. A: Math. Gen. 39, 13767–13782 (2006).

[48] K.-I. Kondo, "Gauge-invariant gluon mass, infrared Abelian dominance and stability of magnetic vacuum", Phys. Rev. D 74, 125003 (2006) (15 pages).

[49] S. Kato, K.-I. Kondo, T. Murakami, A. Shibata, T. Shinohara and S. Ito, "Lattice construction of Cho–Faddeev–Niemi decomposition and gauge invariant monopole", Phys. Lett. B 632, 326–332 (2006).

[50] E. Shintani, S. Aoki, N. Ishizuka, K. Kanaya, Y. Kikukawa, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yoshi?, "Neutron electric dipole moment with external electric field method in lattice QCD", Phys. Rev. D 75, 034507 (2007).

[51] M. Hayakawa and H. Suzuki, "Gauge anomaly associated with the Majorana fermion in 8k+1 dimensions", Prog. Theor. Phys. 115, 1129–1136 (2006).

[52] M. Hayakawa, H. So and H. Suzuki, "Overlap lattice fermion in a gravitational field", Prog. Theor. Phys. 116, 197–215 (2006).

[53] H. Fukaya, I. Kanamori, H. Suzuki, M. Hayakawa, T. Takimi, "Note on massless bosonic states in two-dimensional field theories", Prog. Theor. Phys. 116, 1117–1129 (2007).

[54] Y. Tenjinbayashi, H. Igarashi and T. Fujiwara, "Dirac operator zero-modes on a torus", Annals Phys. 322, 460–488 (2007).

国際会議招待講演

[1] T. Fujiwara, "A Numerical Study of Spectral Flows of the Hermitian Wilson-Dirac Operator and the Index Theorem in Abelian Gauge Theories on Finite Lattices", Lattice Statistics and Mathematical Physics 2001, APCTP-NANKAI Symposium, Tianjing, China, 2001 年 10 月 7-10 日.

[2] K.-I. Kondo, "Stability of Yang-Mills vacuum and confinement due to a novel vacuum condensate", Understanding Confinement, Ringberg Castle, München, Germany, organized by W. Ochs, L. Stodolsky, A. Vainshtein and V. Zakharov, 2005 年 5 月 16-21 日.

[3] K.-I. Kondo, "A gauge-invariant mechanism for quark confinement and a new approach to the mass gap problem", 2006 International Workshop on the Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories (SCGT 06), Nagoya, Japan, 2006 年 11 月 21-24 日.

[4] Y. Kikukawa, "Electroweak theory on the lattice", Domain Wall Fermions at Ten Years (Brookhaven National Laboratory (BNL), 2007 年 3 月 15-17 日.

国内会議招待講演

[1] 近藤慶一,「閉じ込め問題に関する最近の発展と今後の展望」, 新潟大学・山形大学合同合宿型研究会, 2006 年 11 月 10-12 日.

学会発表

[1] 村上武晴, 村上武晴, 篠原 徹, 今井崇人, 近藤慶一,「BRS 不変な次元 2 の複合演算子のくりこみと演算子積展開」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[2] 篠原 徹, 村上武晴, 今井崇人, 近藤慶一,「真空凝縮の計算における繰り込み可能性と BRST 不変性」, 日本物理学会 2002 年第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[3] 今井崇人, 近藤慶一,「次元 2 の真空凝縮と閉じ込め弦」, 日本物理学会 2002 年第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[4] 滝本嘉夫, 藤原高徳,「AN 戸田場の理論の厳密な演算子解の構成へ向けて」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 14 日.

[5] 篠原徹, 近藤慶一,「最大可換ゲージにおける SD 方程式の漸近解」, 日本物理学会 2003 年第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[6] 村上武晴, 近藤慶一, 加藤浩,「Yang-Mills 理論における SD 方程式の UV 漸近解と次元 2 の凝縮」, 日本物理学会 2003 年第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[7] 加藤浩, 近藤慶一, 村上武晴,「SD equation and dimension 2 condensate in Yang-Mills theory」, 日本物理学会 2003 年第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[8] 藤原高徳, 永尾敬一, 鈴木博,「Axial anomaly with the overlap-Dirac operator in arbitrary dimensions」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 10 日.

[9] 加堂大輔，菊川芳夫，中山洋一，「A practical solution to the local cohomology problem in abelian chiral gauge theories on a finite lattice」，日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 10 日.

[10] 新谷栄悟，青木慎也，蔵増嘉伸，菊川芳夫，「Neutron electric dipole moment with domain-wall fermion in quenched lattice QCD」，日本物理学会 2004 年第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[11] 村上武晴，近藤慶一，篠原徹，「Quark と gluon の質量生成と真空凝縮」，日本物理学会 2004 年第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 28 日.

[12] 近藤慶一，篠原徹，村上武晴，「新しい補助場の方法による Yang-Mills 理論の解析 (1)」，日本物理学会 2004 年第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[13] 篠原徹，近藤慶一，村上武晴，「新しい補助場の方法による Yang-Mills 理論の解析 (2)」，日本物理学会 2004 年第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 30 日.

[14] 田澤正和，加堂大輔，菊川芳夫，「SU(N) 格子カイラルゲージ理論におけるゲージアノマリーの解析と admissibility ε 展開」，日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[15] 加堂大輔，菊川芳夫，「Field tensor-based analysis of local cohomology problem in chiral lattice gauge theories」，日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[16] 村上武晴，近藤慶一，篠原徹，「Magnetic condensation and chiral symmetry breaking in QCD」，日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[17] 篠原徹，近藤慶一，村上武晴，「Magnetic condensation and quark confinement in Yang-Mills theory」，日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 30 日.

[18] 加堂大輔，菊川芳夫，「U(1) カイラル格子ゲージ理論におけるゲージ不変なワイルフェルミオン経路積分測度の数値的な計算」，日本物理学会 2005 年第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[19] 滑川裕介，菊川芳夫，「π +–π 0 mass difference on the lattice」，日本物理学会 2005 年第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 27 日.

[20] 篠原徹，村上武晴，近藤慶一，加藤清考 B，柴田章博，「CFN 分解による SU(3) Yang-Mills 理論の解析」，日本物理学会 2005 年第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[21] 柴田章博，加藤清考，近藤慶一，村上武晴 D，篠原徹，「CFN 分解による格子 SU(2)QCD の磁気凝縮と真空の安定性」，日本物理学会 2005 年第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[22] 加藤清考，近藤慶一，柴田章博 B，篠原徹 C，村上武晴，「SU(2)Yang-Mills 理論の CFN 分解によるモノポールのモンテカルロ・シミュレーション」，日本物理学会 2005 年第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[23] 福井隆裕，初貝安弘，鈴木博，「2 次元離散ブリユアン・ゾーンにおけるホール伝導度– 格子上のトポロジカル量子数」，日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 22 日.

[24] 柴田章博，近藤慶一，村上武晴，篠原徹，加藤清考，「Yang-Mills 理論における質量次元 2 の真空凝縮：CFN 分解による分析」，日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 13 日.

[25] 加藤清考，近藤慶一，柴田章博，篠原徹，村上武晴，「格子 SU(2)QCD の CFN 分解とモノポール凝縮」，日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 13 日.

[26] 村上武晴，近藤慶一，篠原徹，加藤清孝，柴田章博，「CFN 分解による拡大ゲージ対称性とゲージ不変な質量項」，日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 14 日.

[27] 菊川芳夫，甲田昌也，安田淳一郎,「Strong First Order Chiral Phase Transition in SU(N)L × SU(N)R Sigma Model and Electroweak Baryogenesis」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 28 日.

[28] 村上武晴，近藤慶一，Michael Walker，篠原徹，加藤清孝，柴田章博，伊藤祥一,「グルーオン場による adjoint 複合演算子の構成」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[29] 篠原徹，近藤慶一，Michael Walker，村上武晴，加藤清孝，柴田章博，伊藤祥一,「SU(3) グルーオン場の非線形分解」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[30] 加藤清考，近藤慶一，柴田章博，篠原徹，村上武晴，伊藤祥一,「格子上のゲージ不変なモノポールと，クォーク閉じ込め」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[31] 伊藤祥一，近藤慶一，柴田章博，篠原徹，村上武晴，加藤清考,「CFN 分解に基づく格子モノポールの SU(3) シミュレーション」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[32] 柴田章博，近藤慶一，村上武晴，篠原徹，加藤清考,「YM 理論における質量次元 2 の真空凝縮の格子上の CFN 分解による分析」, 日本物理学会 2006 年第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

ホームページの公開

[1] http://physics.s.chiba-u.ac.jp/ kondo/

[2] http://www.riken.go.jp/lab-www/theory/

計画班: C17

研究課題名: CP の破れと標準模型を超える物理

研究代表者: 小林 誠　高エネルギー加速器研究機構・ダイヤモンドフェロー
林 青司　神戸大学・教授
岡田 安弘　高エネルギー加速器研究機構・教授

重要な成果

ニュートリノ質量を説明できる大統一理論やフレーバー対称性を持った理論などいろいろな種類の超対称模型で B 中間子、K 中間子の CP 破れや稀崩壊過程、レプトンフレーバーの破れ過程の計算を行って、これらの観測量の標準模型の予言からのずれのパターンの模型による違いを明らかにした。そして、この結果を現行の B ファクトリー実験の結果の解釈と関連する実験の将来計画の検討に役立てた。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

高次元ゲージ理論においてゲージ・ヒッグスを具現する 5 次元 SU(3) ゲージ理論を提唱し, オービフォールド化と細谷機構により、望ましいゲージ場、ヒッグス場の出現と、望ましいゲージ対称性の破れが実現する事を示した。近年明らかになってきたニュートリノ振動関して、擬ディラックニュートリノシナリオが成立するかどうかを詳しく検討した。

平成 14 年度:

大統一理論やフレーバー対称性を持った理論などいろいろな超対称模型で様々なフレーバーチェンジングニュートラルカレント過程や CP の破れを計算し、B ファクトリー実験に対するインパクトを明らかにした。将来のレプトンフレーバーの破れの探索実験のため、ミューオン原子中のミューオン電子転換過程転換確率を、いろいろな原子核で詳しく計算した。ニュートリノの 3 世代混合の振動確率を 2 世代混合で扱う新しい近似公式を導いた。

平成 15 年度:

小さなニュートリノの質量を生成する機構である Zee 模型について、宇宙論的な制限を満たす現実的な模型を構築した。様々な超対称模型で B 中間子の稀崩壊過程について計算を進め、Super B factory 計画の検討に役立てた。また、超対称シーソー模型で、ミュー粒子− 電子転換過程に対し重いヒッグス粒子の交換による新しい寄与があることを指摘した。

平成 16 年度:

高次元重力理論の元で、重力、ゲージ場、ヒッグス場を統一し、ヒッグス質量への 2 次発散する量子効果を除去する試みを行った。ニュートリノの質量がマヨラナ質量であるかを調べるために考えられる 2 重ベータ崩壊以外の様々な過程を検討した。ヒッグス 2 重項を複数ふくむ模型で電弱相転移の際にバリオン数が生成されるシナリオを考え、コライダー実験でのヒッグス粒子の物理へのインパクトを調べた。

平成 17 年度:

B 中間子がタウレプトンを含む終状態へ崩壊する過程を超対称模型で考え、超対称の破れの構造をどのように解明することができるかについて調べた。余剰次元を用いたゲージヒッグス統一模型と超対称性の理論の関係を調べ、前者の理論に量子力学的超対称性が隠されていることを見出した。

平成 18 年度:

ニュートリノの質量生成を TeV スケールの物理によって説明する左右対称模型をタウ粒子やミュー粒子のレプトンフレーバーの破れの過程によって探る可能性を検討した。ゲージヒッグス統一シナリオの電弱精密測定による制限を考察し、高次元理論であるにも関わらず S, T パラメターの特定の線形結合に関しては有限量として予言可能であることを示した。また、磁気単極子の電気二重極能率を超対称性のあるモデルで詳細に調べて、その生成機構を明らかにした。

査読付国際誌への掲載

[1] M. Kobayashi and C.S. Lim, "Pseudo Dirac scenario for neutrino oscillations", Phys. Rev. D **64**, 013003 (2001).

[2] M. Kubo, C.S. Lim aand H. Yamashita, "The Hosotan Mechanism in Bulk Geuge Theories with an Orbifold Extra Space", Mod. Phys. Lett. A **17**, 2249 (2002).

[3] R. Kitano, M. Koike and Y. Okada, "Detailed calculation of lepton flavor violating muon electron conversion rate for various nuclei", Phys. Rev. D **66**, 096002 (2002).

[4] T. Goto, Y. Okada, Y. Shimizu, T. Shindou and M. Tanaka, "Exploring flavor structure of supersymmetry breaking at B factories", Phys. Rev. D **66**, 035009 (2002).

[5] C.S. Lim, K. Ogure and H. Tsujimoto, "How precisely can we reduce the three-flavor neutrino oscillation to the two-flavor one only from delta(m**2(12))/delta(m**2(13)) approx. $< 1/15$?", Phys. Rev. D **67**, 033007 (2003).

[6] K.Hasegawa, C.S. Lim and K. Ogure, "Escape from washing out of baryon number in a two-zero-texture general Zee model compatible with the LMA-MSW", Phys. Rev. D **68**, 053006 (2003).

[7] S. Kanemura, S. Kiyoura, Y. Okada, E. Senaha and C. P. Yuan, "New physics effect on the Higgs self-coupling", Phys. Lett. B **558**, 157 (2003).

[8] R. Kitano, M. Koike, S. Komine and Y. Okada, "Higgs-mediated muon electron conversion process in supersymmetric seesaw model", Phys. Lett. B **575**, 300(2003).

[9] K.Hasegawa, C.S.Lim and N.Maru, "An attempt to solve the hierarchy problem based on gravity gauge Higgs unification scenario", Phys. Lett. B **604**, 133 (2004).

[10] T. Goto, Y. Okada, Y. Shimizu, T. Shindou and M. Tanaka, "Exploring flavor structure of supersymmetry breaking from rare B decays and unitarity triangle", Phys. Rev. D **70**, 035012 (2004).

[11] S. Kanemura, Y. Okada, E. Senaha and C. P. Yuan, "Higgs coupling constants as a probe of new physics", Phys. Rev. D **70**, 115002 (2004).

[12] C.S.Lim, E.Takasugi and M.Yoshimura, "A variety of lepton number violating processes related to Majorana neutrino masses", Prog. Theor. Phys. **113**, 1367 (2005).

[13] C.S.Lim, T.Nagasawa, M.Sakamoto and H.Sonoda, "Supersymmetry in gauge theories with extra dimensions", Phys. Rev. D **72**, 064006 (2005).

[14] H. Itoh, S. Komine and Y. Okada, "Tauonic B decays in the minimal supersymmetric standard model", Prog. Theor. Phys. **114**, 179 (2005).

[15] S. Kanemura, Y. Okada and E. Senaha, "Electroweak baryogenesis and quantum corrections to the triple Higgs boson coupling", Phys. Lett. B **606**, 361 (2005).

[16] M. Kobayashi, "Electric dipole Moment of magnetic monopole", Prog. Theor. Phys. **117**, 479 (2007).

[17] C.S. Lim, "Pseudo-Dirac Neutrinos", Annales de la Fondation Louis de Broglie **31**, 2 (2006).

[18] C.S.Lim, "Calculable One-Loop Contributions to S and T parameters in the Gauge-Higgs Unification", Phys. Rev. D to appear (2007).

[19] M. Asano, S. Matsumoto, N. Okada and Y. Okada, "Cosmic positron signature from dark matter in the littlest Higgs model with T-parity", Phys. Rev. D **75**, 063506 (2007).

国際会議招待講演

[1] M.Kobayashi, "Symmetry and Einstein", 2005 Particle Accelerator Conference, 2005 年 5 月 18 日.

[2] M.Kobayashi, "Duality and Electric Dipole Moment of Magnetic Monopole", International Symposium pn Λ 50 "The Jubilee of the Sakata Model", 2006 年 11 月 26 日.

[3] C.S.Lim, "The staus of Resonant Spin Flavor Precession", NOON2001, 2001 年 12 月 5 日.

[4] C.S.Lim, "A variety of lepton number violating processes related to Majorana neutrino masses", NuFact04, 2004 年 7 月 28 日.

[5] C.S.Lim, "Gauge-Higgs unification and related topics", Planck 05, 2005 年 5 月 23 日.

[6] Y.Okada, "Physics introduction, Theory", LCWS2002, 2002 年 8 月 26 日.

[7] Y.Okada, "Exploring SUSY breaking mechanism in B decays", The 4th Workshop on Higher Luminosity B Factory, 2003 年 2 月 4 日.

[8] Y.Okada, "JLC Physics", ACFA Linear Collider Symposium, 2003 年 2 月 12 日.

[9] Y.Okada, "Physics at ACFA LC", ACFA LC meeting, 2003 年 4 月 17 日.

[10] Y.Okada, "SUSY in B Physics in 10^{36} Era", Workshop on the Discovery Potential of an Asymmetric B Factory at 10^{36} Luminosity, 2003 年 5 月 8 日.

[11] Y.Okada, "Physics Overview", The 5th Workshop on Higher Luminosity B Factory, 2003 年 9 月 24 日.

[12] Y.Okada, "Searching for new physics through LFV processes", The 2nd International Conference on Flavor Physics, 2003 年 10 月 9 日.

[13] Y.Okada, "Introduction to linear collider physics", The 6th ACFA Linear Collider Workshop, 2003 年 12 月 15 日.

[14] Y.Okada, "Physics at a Linear Collider", 2004 Phenomenology Symposium, 2003 年 4 月 28 日.

[15] Y.Okada, "Muon Particle Physics", NuFact 04, 2004 年 7 月 27 日.

[16] Y.Okada, "Searching for SUSY in B Decays", 2004 SLAC Summer Institute, 2004 年 8 月 10 日.

[17] Y.Okada, "New Physics in B decays", FPCP 2004, 2004 年 10 月 7 日.

[18] Y.Okada, "Summary talk for ILC Physics", The 7th ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider, 2004 年 11 月 12 日.

[19] Y.Okada, "SUSY and B Physics Observables", Super B Factory Workshop in Hawaii, 2005 年 4 月 20 日.

[20] Y.Okada, "Lepton Flavor Violation", The 3rd International Conference on Flavor Physics, 2005 年 10 月 7 日.

[21] Y.Okada, "Physics Overview", LCWS06 & ILC GDE meeting, 2006 年 3 月 9 日.

[22] Y.Okada, "B→(D)$\tau\nu$ in MSSM", Flavour in the era of the LHC, 2006 年 5 月 15 日.

[23] Y.Okada, “CP violation and CKM (Theory)”, The XXXIII International Conference on High Energy Physics, 2006 年 7 月 31 日.

[24] Y.Okada, “Summary from Theory Community”, The international workshop on B factories and new measurements, 2006 年 9 月 14 日.

[25] Y.Okada, “Status of Physics DCR”, International Linear Collider Workshop (ILC-ECFA), 2006 年 11 月 7 日.

[26] Y.Okada, “SUSY breaking studies”, The 2nd international workshop on B factories and new measurements, 2006 年 12 月 18 日.

[27] Y.Okada, “ILC Physics DCR”, 9th ACFA ILC Physics & Detector Workshop and ILC GDE Meeting, 2007 年 2 月 4 日.

[28] Y.Okada, “ILC and future high energy physics”, Mini-workshop on frontiers in particle physics (NCU Taiwan), 2007 年 3 月 30 日.

国内会議招待講演

[1] 岡田安弘, 「Higgs Phyiscs at Linear Colliders (from theoretical viewpoint)」, 広島ヒグス研究会, 2003 年 1 月 15 日.

[2] 岡田安弘, 「SUSY/Higgs」, シンポジウム「物質の創生と発展」, 2004 年 11 月 4 日.

[3] 岡田安弘, 「B メソンにおける CP は標準模型を超えるか？(理論家から)」, 京都大学基礎物理学研究所研究会　「場の理論の基礎的諸問題と応用」, 2004 年 12 月 16 日.

[4] 岡田安弘, 「Higgs and SUSY at future colliders」, Hiroshima Higgs Workshop, 2006 年 1 月 17 日.

[5] 岡田安弘, 「ILC Physics」, ILC 測定器　第一回研究会, 2006 年 12 月 20 日.

学会発表

[1] 岡田安弘, 「まとめ」, 日本物理学会 第６１回年次大会 シンポジウム ” ２０１０年代のフレーバー物理 ”, 2006 年 3 月 29 日.

計画班: C18

研究課題名: 強結合場の理論の摂動的および非摂動的解析

研究代表者: 中村 純 広島大学・教授
大川 正典 広島大学大学院・教授
小平 治郎 高エネルギー加速器研究機構・教授
中澤 直仁 島根大学・助教授 (H13 年度)

重要な成果

物質を構成する素粒子であるクォークは単体では測定されないが、量子色力学 QCD はこの閉じ込め相から非閉じ込め相への相転移を予言している。超高温状態を実現する超高エネルギー重イオン反応の実験で、米国ブルックヘブン国立研究所でこの相転移温度を超えたと考えられているが、そこで見いだされたものは予想に反して、自由なクォークガス状のものではなく、強く相互作用する完全流体と考えられる物質であった。我々は格子 QCD シミュレーションにより、初めてこの物質の粘性係数を計算し、完全流体に近い非常に低い粘性係数を得た。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
(中村) 非閉じ込め相でのハドロン中のクォークが強く相互作用している兆候を見いだした。(中澤) 3 次元量子重力理論の 2+1 分解が確率過程として記述できることを示した。(小平) B 中間子の光円錐分布関数を解析した。Drell-Yan 過程でのレプトンのヘリシティー分布等が核子のパートン分布関数を決定する上で非常に有効であることを示した。

平成 14 年度:
(中村) 符号問題の無い 2 色 QCD の相構造を調べた。(大川) 重いクォークを含むハドロン行列要素の計算を NRQCD クォーク作用を用いて行なった。また、K 中間子崩壊過程での CP 非保存の強さの測定を行った。(小平) 重いクォークの有効理論を用いることにより B 中間子の光円錐波動関数が 2 フォック近似の下で解析的に解けることを見出した。

平成 15 年度:
(中村) σ 中間子について、非結合ダイアグラムが大きく寄与していることを見いだした。(小平) RHIC 領域の偏極陽子-陽子反応における J/Ψ 生成の二重スピン非対称性を計算し、偏極核子内のグルーオンの分布関数に重要であることを指摘した。(大川) I=2 パイ中間子散乱の位相差を格子シミュレーションにより計算した。η' の質量の計算を行った。

平成 16 年度:
(中村) 有限温度でのクォーク・反クォーク間の力を数値シミュレーションにより調べた。格子ＱＣＤでグルーオンの輸送係数を計算した。(大川) NRQCD クォーク作用を使い、重クォーク・軽クォーク中間子、重クォーク・軽クォーク・軽クォーク重粒子系の展開パラメータを測定した。(小平) 重いクォーク質量極限で、B 中間子の包含崩壊を形状関数を使って決定した。

平成 17 年度:
(中村) 近年、クォーク・クォーク間 (ダイ・クォーク) ポテンシャルを計算した。(小平) 偏極 Drell-Yan 反応に対する QCD 補正を計算した。小 Q_T で重要になるソフトグルーオン効果を再加重により、Q_T 分布を調べた。(大川) 現実世界に対応する $Nf = 2 + 1$ の QCD シミュレーションによりハドロン質量の計算を行った。

平成 18 年度:
(中村) Gribov-Zwanziger の閉じ込めシナリオを検証するために、クォークポテンシャルの中の瞬間相互作用部を計算した。(小平) 偏極陽子 Drell-Yan 反応に対し、大小全領域の Q_T に対し、各領域で有効な計算法で解析を行い、断面積を系統的に導出した。(大川) シュレーディンガー関数法により、$N_f = 0, 2, 3$ に対する $O(a)$ 改良 Wilson 作用のパラメータを決定した。

査読付国際誌への掲載

[1] Ph. de Forcrand A. Nakamura et al., Meson correlators in finite temperature lattice QCD, Phys. Rev. D63 (2001) 054501.

[2] Ph. de Forcrand, A. Nakamura et al., Responses of hadrons to chemical potential at finite temperature, Phys. Rev. D65 (2001) 054501.

[3] A. Ali Khan M. Okawa et al., Kaon B parameter from quenched domain-wall QCD, Physical Review D64(11) (2001) 114506.

[4] S. Aoki M. Okawa et al. , Differential decay rate of $B \to \pi\ell\nu$ semileptonic decay with lattice nonrelativistic QCD, Physical Review D64(11) (2001) 114505.

[5] A. Nakamura, I. Pushkina, T. Saito, S. Sakai, Screening of hot gluon, Phys. Lett. B549 (2002), 133-138.

[6] O.Miyamura, S.Choe, Y.Liu, T.Takaishi and A.Nakamura, Responses of quark condensates to the chemical potential, Phys.Rev. D66 (2002) 077502.

[7] A. Ali Khan M. Okawa et al., Light Hadron Spectroscopy with Two Flavors of Dynamical Quarks on the Lattice, Physical Review D65(5) (2002) 054505.

[8] JLQCD Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al., , " I=2 Pion Scattering Length with the Wilson Fermion ", Phys.Rev. D66 (2002) 077501 .

[9] H. Kawamura, Y. Kiyo, J. Kodaira and K. Morii, Revisiting W gamma production at RHIC, Prog.Theor.Phys. 107 (2002) 125-137.

[10] Shin Muroya, Atsushi Nakamura and Chiho Nonaka, Behavior of Hadrons at Finite Density – Lattice Study of Color SU(2) QCD, Phys. Lett. B551 (2003) 305-310.

[11] Jiro Kodaira and Hiroshi Yokoya , Lepton Helicity Distributions in Polarized Drell-Yan Process, Phys.Rev. D67 (2003) 074008.

[12] J. Kodaira and C.- F. Qiao , Detect ΔG at BNL-RHIC via Double Quarkonium Production, Phys.Lett. B565 (2003) 146-152.

[13] Hiroyuki Kawamura, Jiro Kodaira, Cong-Feng Qiao and Kazuhiro Tanaka , Transverse Momentum Distribution in the B Mesons in the Heavy-quark Limit: the Wandzura-Wilczek Part, Mod.Phys.Lett. A18 (2003) 799.

[14] CP-PACS Collaboration: V. I. Lesk, M. Okawa et al., , " Flavor Singlet Meson Mass in the Continuum Limit in Two-Flavor Lattice QCD, Phys.Rev. D67 (2003) 074503 .

[15] CP-PACS Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al., , " I=2 Pion Scattering Phase Shift with Wilson Fermions ", Phys.Rev. D67 (2003) 014502 .

[16] JLQCD Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al., , " $B^0 - \bar{B}^0$ mixing in quenched lattice QCD ", Phys.Rev. D67 (2003) 014506 .

[17] CP-PACS Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al., , " Light Hadron Spectrum and Quark Masses from Quenched Lattice QCD ", Phys.Rev. D67 (2003) 034503 .

[18] Jiro Kodaira, Hiroshi Yokoya , " Lepton Helicity Distributions in Polarized Drell-Yan Process ", Phys.Rev. D67 (2003) 074008 .

[19] JLQCD Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al. , " B-Bbar mixing in unquenched lattice QCD , Phys.Rev.Lett. 91 (2003) 212001 .

C18

[20] CP-PACS Collaboration: V. I. Lesk, M. Okawa et al. , " Flavor Singlet Meson Mass in the Continuum Limit in Two-Flavor Lattice QCD , Phys.Rev. D67 (2003) 074503 .

[21] Sunao Sakai and Atsushi Nakamura , " Improved gauge action on an anisotropic lattice II - Anisotropy parameter in the medium coupling region - , Phys.Rev. D69 (2004) 114504-1,114504-9 .

[22] A. Nakamura, and T. Saito , " Heavy qq Interaction at Finite Temperature ", Prog. Theor. Phys. 112 (2004) 183-188 .

[23] A. Nakamura, T. Saito and S. Sakai , " Lattice Calculation of Gluon Screening Masses ", Phys. Rev. D69 (2004) 014506-1,014506-11 .

[24] QCD-TARO Collaboration: Ph. deForcrand, A. Nakamura et al. , " Contribution of disconnected diagrams to the hyperfine splitting of charmonium ", JHEP 0408 (2004) 004 .

[25] A. Nakamura and T. Saito , " Long-distance behavior of q-qbar color dependent potentials at finite temperature ", Prog. Theor. Phys. Vol. 111, (2004) 733-743 .

[26] QCD-TARO Collaboration: I. Pushkina, A. Nakamura et al., , " Properties of hadron screening masses at small baryonic density ", Phys. Lett. B609 (2005) 265-270 .

[27] Atsushi Nakamura and Sunao Sakai , " Transport Coefficients of Gluon Plasma ", Phys. Rev. Lett. 94, (2005) 072305 .

[28] A. Nakamura, T. Saito , " QCD COLOR INTERACTIONS BETWEEN TWO QUARKS. ", Phys. Lett. B621, 171-175, 2005 .

[29] Hiroyuki Kawamura , Jiro Kodaira , Kazuhiro Tanaka , " Unravelling soft components in the shape function for inclusive B decays ", Prog.Theor.Phys. 113 (2005) 183-198 .

[30] E. Shintani, M. Okawa et al. , " Neutron electric dipole moment from lattice QCD , Phys.Rev. D72 (2005) 014504 .

[31] CP-PACS Collaboration: S. Aoki, M. Okawa et al. , " I=2 Pion Scattering Length from Two-Pion Wave Functions , Phys.Rev. D71 (2005) 094504 .

[32] A. Nakamura, T. Saito, " COLOR CONFINEMENT IN COULOMB GAUGE QCD, Prog.Theor.Phys. 115 (2006) 189-200.

[33] Hiroyuki Kawamura , Jiro Kodaira , Hirotaka Shimizu , Kazuhiro Tanaka , " The Dilepton Q_T Spectrum in Transversely Polarized Drell-Yan Process in QCD ", Prog.Theor.Phys. 115 (2006) 667-672 .

[34] H.Kawamura, J.Kodaira, H.Shimizu, K.Tanaka , " Q_T Resummation in Transversely Polarized Drell-Yan Process ", Int.J.Mod.Phys. A21 (2006) 918-922 .

[35] CP-PACS, JLQCD Collaborations: S. Aoki, M. Okawa et al. , " Nonperturbative $O(a)$ improvement of the Wilson quark action with the RG-improved gauge action using the Schrödinger functional method , Phys.Rev. D73 (2006) 034501 .

[36] Y. Nakagawa, A. Nakamura, T. Saito and H. Toki, " Infrared behavior of the Faddeev-Popov operator in Coulomb gauge QCD, Phys.Rev. D75 (2007) 014508 .

国際会議招待講演

[1] A. Nakamura, "Summary", Finite Density QCD at Nara, 2003 年 7 月 12 日.

C18

[2] A. Nakamura, “Gluon screening masses”, Lattice QCD at Finite Temperature and Density, 2004 年 2 月 12 日.

[3] A. Nakamura, “Viscosity of hot gluon - a lattice QCD Study”, Quark Matter 2005, 2005 年 8 月 5 日.

[4] A. Nakamura, “Viscosities of strongly coupled gluons”, Supercomputing RHIC Physics, 2005 年 12 月 7 日.

[5] A. Nakamura, “ Transport coefficients: a bridge to understand sQGP”, QCD at Finite Density, 2006 年 3 月 23 日.

国内会議招待講演

[1] 中村純,「格子上の高密度 QCD」, 物理学会シンポジウム「高密度系の総合理解に向けて」, 2002 年 9 月 13 日.

[2] 中村純,「格子 QCD による有限温度系の研究 – 20 年後の到達点」, 熱場の量子論とその応用, 2004 年 8 月 11 日.

[3] 中村純,「Lattice QCD for RHIC Physics」, CNS-Riken Workshop “Physics of Quark-Gluon Plasma”, 2006 年 2 月 16 日.

学会発表

[1] 中村純,「強相関クォーク・グルーオン系の物理」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[2] 中村純,「有限密度格子 QCD の過去、現在、未来」, 日本物理学会 2007 年春期大会, 2007 年 3 月 26 日.

ホームページの公開

[1] http://home.riise.hiroshima-u.ac.jp/˜nakamura/

計画班: C19

研究課題名: 数値的手法にもとづいたゲージ理論の非摂動的効果の解明

研究代表者: 鈴木 恒雄　金沢大学総合メディア基盤センター・教授
久保 冶輔　金沢大学自然科学研究科・教授
中島 日出雄　宇都宮大学工学部・教授

重要な成果

鈴木は QCD の閉じ込め機構が、可換な双対マイスナー効果で理解できることをゲージ不変に示した。久保は離散群に基づくフレーバー対称性が低エネルギーで実現されている可能性があり、標準理論やその拡張された理論が持つフレーバー問題を緩和することのできる有力は候補であることを見いだした。中島らは、Landau ゲージの九後・小嶋カラー閉じ込め条件について、非クエンチ数値実験において初めて成立するという数値結果を得た。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

鈴木は、高エネルギー研究所の共同利用計画に採択され O(a) improved clover fermion 作用での full QCD の計算機シミュレーションをはじめた。中島は九後・小嶋閉じ込め条件の検証を Landau gauge 格子 QCD の数値シミュレーションで始めた。久保は、高次元スカラー場の理論のくりこみ群の流れを非摂動くりこみ群を用いて調べた。

平成 14 年度:

鈴木は、Nf=2 の clover fermion 作用の $16^3 \times 8$ の格子で full QCD で、有限温度相転移を研究し、相転移温度を決定した。中島は九後・小嶋閉じ込め条件と Gribov-Zwanziger 理論の予想の関連を調べた。久保は、余分な 5 次元目が小さな円にコンパクト化されている SU(2) ゲージ理論を非摂動論的に解析を行った。

平成 15 年度:

鈴木は、Nf=2 の clover fermion 作用の $24^3 \times 10$ の格子で full QCD で、有限温度相転移を研究し、相転移温度を決定した。中島は、より大きい格子、48^4、56^4 格子で Landau gauge 格子 QCD (SU(3)) の数値シミュレーションに取り組んだ。久保は、5 次元の内 1 次元がコンパクト化された $SU(2)$ 格子ゲージ理論の相構造を更に詳しく調べた。

平成 16 年度:

鈴木は、新しく理化学研究所との協定で大規模 Linux cluster とＳＸ７ベクトルスーパー計算機を共同利用を始めた。新しくゲージに依存しない閉じ込め機構の本質をさぐる研究を始めた。中島らは、56^4 のより細かい (格子定数が小さい) 格子で log U 型のシミュレーションを始めた。久保は、5 次元で定義されている SU(5) ゲージ対称にもとずく超対称統一理論の赤外収束性に関しての研究を始めた。

平成 17 年度:

鈴木は、格子での通常のモノポールが存在しないランダウゲージでも双対マイスナー効果が見られることを発見した。中島は、Unquenched Lattice Landau Gauge Simulation によるクォークプロパゲータの計算を行った。久保は、5 次元が連続空間ではなく、離散的、つまり格子上にコンパクト化されていると 5 次元目に正多角形の対称性がごく自然に存在する。この正多角形の対称性がフレーバーの対称性になっていることを具体的に示し、素粒子の模型を構築した。

平成 18 年度:

鈴木は主として理研の計算機を用いた精密計算機実験で、ゲージ選択に依存しない形で可換な閉じ込め機構が働いていることを発見した。久保はフレーバーの対称性と陽子崩壊モード、暗黒物質の関係について調査を行い、フレーバー対称性は様々な形で実験的に検証可能であることを明らかにした。中島は Landau ゲージＱＣＤ (SU(3)) のゴースト凝縮の可能性を調べた。現在までの解析ではゴースト凝縮は 0 とコンシステントである。

査読付国際誌への掲載

[1] Tsuneo Suzuki et al, “Vacuum type of SU(2) gluodynamics in maximally Abelian and Landau gauges”, Phys. Rev. D 72, 074505-(1-14) (2005).

[2] Tsuneo Suzuki et al, “Entropy of spatial monopole currents in pure SU(2) QCD at finite temperature”, P.R.D71 094506(2005).

[3] Tsuneo Suzuki et al, “The dual Meissner effect and magnetic displacement currents”, Phys. Rev. Lett.94, 132001 (2005) .

[4] Tsuneo Suzuki et al, “Finite Temperature QCD with Two Flavors of Non-perturbatively Improved Wilson Fermions”, Phys. Rev. D 71, 114504 (2005).

[5] Tsuneo Suzuki et al, “Blocking from continuum and monopoles in gluodynamics”, Phys. Atom. Nucl.68, 634-649 (2005).

[6] Tsuneo Suzuki et al, “Structure of the Gauge Fields inside Baryon”, Phys. Atom. Nucl.68, 616-623 (2005).

[7] Tsuneo Suzuki et al, “Profiles of the broken string in two-flavor QCD below and above the finite temperature transition”, Prog. Theor. Phys. **112** (2004) 307-324.

[8] Tsuneo Suzuki et al, “Monopole Gas in Three Dimensional SU(2) Gluodynamics”, Prog. Theor. Phys. **112** (2004) 1023-1045.

[9] Tsuneo Suzuki et al, “Dynamics of Monopoles and Flux Tubes in Two-Flavor Dynamical QCD”, Phys.Rev. D70 (2004) 074511.

[10] Tsuneo Suzuki et al, “Baryonic Flux in Quenched and Two-Flavor Dynamical QCD fter Abelian projection”, Phys.Rev.D70 (2004) 054506.

[11] Tsuneo Suzuki et al, “Matter degrees of freedom and string breaking in Abelian projected quenched SU(2) QCD”, Phys.Rev.D70 (2004) 014506 .

[12] Tsuneo Suzuki et al, “Determination of monopole condensate from monopole action in quenched SU(2) QCD”, Phys.Rev. D69 (2004) 094508.

[13] Tsuneo Suzuki et al, “Numerical determination of monopole entropy in pure SU(2) QCD”, Phys.Rev.D 69, 014509 (2004) .

[14] Tsuneo Suzuki et al, “A detailed study of the Abelian-projected SU(2) flux tube and its dual Ginzburg-Landau analysis”, Phys.Rev. D68 (2003) 114504 .

[15] Tsuneo Suzuki et al, “Duality of gauge field singularities and the structure of the flux tube in Abelian-projected SU(2) gauge theory and the dual abelian Higgs model”, Phys.Rev. D68 (2003) 094018.

[16] Tsuneo Suzuki et al, “Gauge Problem of Monopole Dynamics in SU(2) Lattice Gauge Theory”, Phys.Rev.D67 (2003) 074504 .

[17] Tsuneo Suzuki and M.N. Chernodub, “Screening and confinement in $U(1)^{N-1}$ Abelian effective theories”, Phys.Lett.B563 (2003) 183-190.

[18] Tsuneo Suzuki et al, “FINITE TEMPERATURE PHASE TRANSITION IN LATTICE QCD WITH N(F)=2 NONPERTURBATIVELY IMPROVED WILSON FERMIONS AT N(T)=8”, Nucl.Phys.A721:930-933,2003.

[19] Tsuneo Suzuki et al, "BLOCKING OF LATTICE MONOPOLES FROM THE CONTINUUM IN HOT LATTICE GLUODYNAMICS", JHEP 09(2003)027.

[20] Tsuneo Suzuki et al, "Effective Monopole Action at Finite Temperature in SU(2) Gluodynamics", JHEP 01 (2002) 038-(0-33).

[21] Tsuneo Suzuki et al, "Anatomy of the lattice magnetic monopoles", Phys.Lett. B537 (2002) 291-296.

[22] Tsuneo Suzuki et al, "Casimir scaling in a dual superconducting scenario of confinement", Phys.Rev. D 64 (2001) 011501-(1-5) .

[23] Tsuneo Suzuki et al, "Lattice instanton action from 3D SU(2) Georgi-Glashow model", JHEP 04(2001)026-(0-26).

[24] Tsuneo Suzuki et al, "Weyl symmetric representation of hadronic flux tubes in the dual Ginzburg-Landau theory", Phys.Rev. D64 (2001) 014015-(1-19).

[25] J. Kubo and M. Nunami, "Extra Dimensions Preffer Large $\tan\beta$", Phys. Rev. D63 (2001) 116011.

[26] J. Kubo and D. Suematsu, "Suppressing the μ and Neutrino Masses by a Superconformal Force", Phys. Rev. D64 (2001) 115014.

[27] J. Kubo and M. Nunami, "Unrenormalizable theories are predictive", Eur. Phys. J. C26 (2003) 461.

[28] S. Ejiri, S. Fujimoto and J. Kubo, "Scaling Laws and Effective Dimensions in Lattice SU(2) Yang-Mills Theory with a Compactified Extra Dimension", Phys. Rev. D66 (2002) 036002.

[29] J. Kubo and H. Terao, "Suppressing FCNC and CP Violating Phases by Extra Dimensions", Phys. Rev. D66 (2002) 116003..

[30] K.S. Babu, T. Kobayashi and J. Kubo, "Finite Theories and the SUSY Flavor Problem", Phys. Rev. D67 (2003) 075018.

[31] J. Kubo, A. Mondragon, M. Mondragon, E. Rodriguez-Jauregui , "The Flavor Symmetry", Prog. Theor. Phys. 109 (2003) 795-807.

[32] T. Kobayashi, J. Kubo and H. Terao, "Exact $\mathcal{S}_3$ symmetry solving the supersymmetric flavor problem", Phys. Lett. B568 (2003) 83-91.

[33] J. Kubo, "Majorana Phase in Minimal S_3 Invariant Extension of the Standard Model", Phys. Lett. B578 (2004) 156-164..

[34] J. Kubo and M. Nunami, "Maximal Locality and Predictive Power in Higher Dimensional, Compactified Theories", Prog. Theor. Phys. 111 (2004) 413-432.

[35] Y. Kajiyama, J. Kubo and H. Terao,, "Softennig the Supersymmetric Flavor Problem in Orbifold GUTs", Phys. Rev. D69 (2004) 116006.

[36] J. Kubo, H. Okada and F. Sakamaki, "Higgs Potential in Minimal S_3 Invariant Extension of the Standard Model", Phys. Rev. D70 (2004) 036007.

[37] Ki-Y. Choi, Y. Kajiyama, J. Kubo and H.M. Lee, "Double Suppression of FCNCs in Supersymmetric Models", Phys. Rev. D70 (2004) 055004.

[38] K.S. Babu and J. Kubo, "Dihedral Families of Quarks, Leptons and Higgs Bosons", Phys. Rev. D71 (2005) 056006.

[39] T. Araki, J. Kubo and E.A. Paschos, "S_3 Flavor Symmetry and Leptogenesis", Eur. Phys. J. C45 (2006) 465-475.

[40] Y. Kajiyama, E. Itou and J. Kubo, "Nonabelian Discrete Family Symmetry to soften the SUSY Flavor Problem and to suppress Proton Decay", Nucl. Phys. B743 (2006) 74-103.

[41] S. Furui and H. Nakajima, "Infrared Feature of the Landau Gauge QCD", Phys. Rev. D69, 074505-1-9 (2004), hep-lat/0305010 v2.

[42] S. Furui and H. Nakajima, "What the Gribov copy tells about confinement and the theory of dynamical chiral symmetry breaking", Phys. Rev. D70, 094504-1-10 (2004), hep-lat/0403021.

[43] S. Furui and H. Nakajima, "Unquenched Kogut-Susskind quark propagator in lattice Landau gauge QCD", Phys. Rev. D73, 074503-1-9 (2006), hep-lat/0511045.

[44] S. Furui and H. Nakajima, "Effects of the quark field on the ghost propagator of lattice Landau gauge QCD", Phys. Rev. D73, 094506-1-9 (2006), hep-lat/0602027.

[45] S. Furui and H. Nakajima, "Infrared features of unquenched lattice Landau gauge QCD", Few Body Systems 40, 101-128 (2006), hep-lat/0503029.

[46] S. Furui and H. Nakajima, "Correlation of the ghost and the quark in the lattice Landau gauge QCD", Braz. J. Phys. 37, 186-192 (2007), hep-lat/0609024.

国際会議招待講演

[1] 鈴木恒雄, "Monopole dynamics in QCD", Confinement 2002, 2002 年 9 月 12 日.

[2] J. Kubo, "Renormalization group approach to the SUSY flavor problem", 10th Mexican School of Particles and Fields, Playa del Carmen, 2002 年 10 月 30 日-11 月 6 日.

[3] 鈴木恒雄, "Color confinement mechanism and the type of the QCD vacuum", Understanding confinement, 2005 年 5 月 18 日.

[4] 鈴木恒雄, "Abelian confinement mechanism in QCD ", ECT* workshop on Confinement: connecting the light- and heavy-quark domains, 2007 年 3 月 13 日.

[5] J. Kubo, "SUSY Flavor Problem, Proton Decay and Discrete Family Symmetry", 14th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions, California, 2006 年 6 月 12-17 日.

学会発表

[1] 久保治輔, 「S_3 対称性とニュートリノ混合」, 日本物理学会 2004 年春期大会, 2004 年 9 月 27-30 日.

[2] S. Furui and H. Nakajima, "The Lattice Landau gauge QCD simulation and colour confinement", Hawaii 2001, First Joint Meetings of the Nuclear Physics Division of APS and JPS, October 17-20,2001, Wailea, Maui, Hawaii, p.137.

[3] S. Furui and H. Nakajima, "Colour Confinement in the Lattice Landau Gauge QCD Simulation", in "Quark Confinement and Hadron Spectrum IV" , Vienna, July 2000. Ed. W.Lucha and W.M. Maung, World Scientific, Singapore, (2002) p.275-278, hep-lat/0012017.

[4] 中島日出雄, 古井貞隆, 「Landau ゲージ格子 QCD におけるカラー閉じ込めの検証」, 日本物理学会　第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24-27 日.

[5] H. Nakajima and S. Furui, "Numerical studies of confinement in the Landau gauge by the larger lattice simulation", Nucl. Phys. B119 (Proc. Suppl.) (2003) 730-732, Lattice 2002 proceedings, Boston, USA, June 2002, hep-lat/0208074.

[6] H. Nakajima and S. Furui, "Color Confinement in Lattice Landau Gauge", Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories (SCGT02), Nagoya, December 2002, Ed. by M.Harada, Y. Kikukawa and K. Yamawaki, World Scientific, Singapore (2003) p.67-73, hep-lat/0303024.

[7] 古井貞隆,中島日出雄, 「格子 Landau ゲージにおけるカラー閉じ込め」, 日本物理学会　第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 28-31 日.

[8] S. Furui and H. Nakajima, "Infrared Features of the Landau Gauge QCD and the Gribov Copy Problem", in "Hadron Spectroscopy", ed. E.Klempt et al., AIP conference Proceedings, vol 717,AIP(NewYork), p.685-689, Hadron03 proceedings, Aschaffenburg, Germany, hep-lat/0309166.

[9] H. Nakajima and S. Furui, "Infrared Features of the Lattice Landau Gauge QCD, Nucl. Phys. B129 (Proc. Suppl.)(2004) 730-732, Lattice 2003 proceedings, Tsukuba, Japan, July 2003, hep-lat/0309165.

[10] H. Nakajima and S. Furui, "Numerical Study of Lattice Landau Gauge QCD and the Gribov Copy Problem", QCD Down Under, Conference proceedings, Nucl. Phys. B141 (Proc. Suppl.) (2005)34-40, hep-lat/0408001.

[11] S. Furui and H. Nakajima, "Confinement in the lattice Landau Gauge QCD simulation", Quark Confinement and the Hadron Spectrum VI, AIP Conference Proceedings No.756, p.281-283 (2005), hep-lat/0410038.

[12] S. Furui and H. Nakajima, "Condensates in Lattice Landau Gauge QCD", Hawaii 2005 (Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS), September 2005, Kapalua.

[13] S. Furui and H. Nakajima, "Unquenched Lattice Landau Gauge QCD", "京都大学基礎物理学研究所研究会　格子ゲージ理論の新しい芽と発展" 素粒子論研究第１１１巻６号　F48-50, 2004 年 12 月 8-10 日.

[14] S. Furui and H. Nakajima, "The running coupling in lattice Landau gauge with unquenched Wilson fermion and KS fermion", POS LAT2005 :291, 2006, hep-lat/0509035.

[15] H. Nakajima and S. Furui, "Color Confinement in lattice Landau gauge with unquenched Wilson and KS fermions", POS LAT2005 :302, 2006, hep-lat/0509033.

[16] 古井貞隆, 中島日出雄, 「Asqtad アクションを用いた非クエンチ格子 Landau ゲージ QCD による九後・小嶋カラー閉じ込め条件の考察」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[17] 古井貞隆, 中島日出雄, 「Asqtad アクションを用いた非クエンチ格子 Landau ゲージ QCD による九後・小嶋カラー閉じ込め条件の考察」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[18] S. Furui and H. Nakajima, "Effects of the quark field on the ghost propagator of lattice Landau gauge QCD", IRQCD in RIO, June, 2006.

[19] H. Nakajima and S. Furui, "Infrared features of the ghost propagators in quenched and unquenched lattice Landau gauge QCD", The Joint Meeting of Pacific Region Particle Physcs Communities, DPF2006+JPS2006, http://www.phys.hawaii.edu/%7Edpf06/post/latticeqcd.pdf.

[20] V.G. Bornyakov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, T.Suzuki, S.N. Syritsyn, NEW FEATURES OF THE MAXIMAL ABELIAN PROJECTION, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 153:25-32, 2006, .

[21] Toru Sekido, Katsuya Ishiguro, Yoshifumi Nakamura, Tsuneo Suzuki, GAUGE INVARIANCE OF THE ABELIAN DUAL MEISSNER EFFECT IN PURE SU(2) QCD, PoS LAT2005:329, 2005, .

[22] Tsuneo Suzuki, Katsuya Ishiguro, Yoshifumi Nakamura, Toru Sekido, GAUGE INVARIANT 'MONOPOLES' AND COLOR CONFINEMENT MECHANISM, PoS LAT2005:296, 2005, .

[23] Katsuya Ishiguro, Yoshihiro Mori, Yoshifumi Nakamura, Toru Sekido, Tsuneo Suzuki, TOWARDS SU(2) INVARIANT FORMULATION OF THE MONOPOLE CONFINEMENT MECHANISM, PoS LAT2005:307, 2005, .

[24] V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, Y. Nakamura, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stueben, T. Suzuki, CRITICAL TEMPERATURE IN QCD WITH TWO FLAVORS OF DYNAMICAL QUARKS., PoS LAT2005 157, 2005, .

[25] Tsuneo Suzuki, Katsuya Ishiguro, Yoshifumi Nakamura and Toru Sekido, Gauge invariance of the dual Meissner effect in QCD, hep-lat/0511025, KANAZAWA 05-10, .

[26] Tsuneo Suzuki, Katsuya Ishiguro, Yoshihiro Mori, Toru Sekido, THE DUAL MEISSNER EFFECT IN SU(2) LANDAU GAUGE, AIP Conf.Proc.756:172-181,2005, .

[27] Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, S.M. Morozov, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, A.A. Slavnov, H. Stueben, T. Suzuki, FINITE TEMPERATURE QCD WITH TWO FLAVORS OF DYNAMICAL QUARKS ON 24**3 X 10 LATTICE, AIP Conf.Proc.756:242-244,2005, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 140:535-537, 2005, .

[28] Tsuneo Suzuki, M.N. Chernodub, Katsuya Ishiguro, ENERGY ENTROPY STUDY OF PROJECTED SPACE LIKE MONOPOLES IN FINITE T QUENCHED SU(2) QCD, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 129:760-762,2004, .

[29] M.N. Chernodub, Katsuya Ishiguro, Tsuneo Suzuki, BLOCKED LATTICE MONOPOLES IN QUENCHED SU(2) QCD AND DUAL SUPERCONDUCTOR MODEL, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 129 662-664,2004, .

[30] Katsuya Ishiguro, M.N. Chernodub, Katsuya Kobayashi, Tsuneo Suzuki, ENTROPY OF MONOPOLES FROM PERCOLATING CLUSTER IN QUENCHED SU(2) QCD, Nucl.Phys.Proc.Suppl.129:659-661,2004, .

[31] Koichi Hashimoto, M.N. Chernodub, Tsuneo Suzuki, AN ABELIAN EFFECTIVE ACTION REPRODUCING SCREENING AND CONFINEMENT IN QUENCHED SU(2) QCD, Nucl.Phys.Proc.Suppl.129:650-652,2004, .

[32] Y. Mori, V. Bornyakov, H. Ichie, Y. Koma, M. Polikarpov, G. Schierholz, H. Stuben, T. Suzuki, STRUCTURE OF THE BARYONIC FLUX TUBE IN N(F) = 2 LATTICE QCD AT FINITE TEMPERATURE, Nucl.Phys.Proc.Suppl.129:742-744,2004, .

[33] Y. Nakamura et al.., FINITE TEMPERATURE PHASE TRANSITION IN FULL QCD WITH N(F) = 2 FLAVORS OF CLOVER FERMIONS AT N(T) = 8 AND 10, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 129:733-735, 2004, .

[34] V. Bornyakov et al.., HEAVY QUARK POTENTIAL IN LATTICE QCD AT FINITE TEMPERATURE, *Gargnano 2002, Quark confinement and the hadron spectrum* 294-296, .

[35] DESY-ITEP-Kanazawa (V. Bornyakov et al.)., THE PROFILE OF THE BROKEN STRING IN THE CONFINED AND DECONFINED PHASE IN FULL QCD, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 119:712-714, 2003, .

[36] M.N. Chernodub, T. Suzuki, STRING BREAKING AND MONOPOLES, *Gargnano 2002, Quark confinement and the hadron spectrum* 258-260, .

[37] Y. Koma, M. Koma, T. Suzuki, Ernst-Michael Ilgenfritz, M.I. Polikarpov, A FRESH LOOK ON THE FLUX TUBE IN ABELIAN PROJECTED SU(2) GLUODYNAMICS, Nucl.Phys.Proc.Suppl.119:676-678,2003, .

[38] V. Bornyakov et al.., THERMODYNAMICS AND HEAVY QUARK POTENTIAL IN N(F) = 2 DYNAMICAL QCD, Nucl.Phys.Proc.Suppl.119:703-708,2003, .

[39] 森祥寛，DIK collaboration , Profoles of the broken string in two-flavor QCD below and above the finite temperature transition, 2004 年春：「第 59 回年次大会」(九州大学箱崎キャンパス) , .

[40] 森祥寛，DIK collaboration, The baryon flux tube structure in $N_f = 2$ QCD at nonzero temperature., 2003 年春：「第 58 回年次大会」(東北大学川内キャンパス/東北学院大学土樋キャンパス) , .

[41] 森祥寛，DIK collaboration, Profiles of the broken string in two-flavor QCD below and above the finite temperature transition, 2003 年度 KEK 大型シミュレーション研究ワークショップ「ハドロン物理と格子ＱＣＤ」, .

[42] Y. Nakamura, V. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Koma, Y. Mori, M. Polikarpov, G. Schierholz, A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki,P. Uvarov, A. Veselov, "Finite Temperature Lattice QCD with Nf=2 Nonperturbatively Improved Clover Fermion Action"., March 2003, JPS Workshop, Tohoku Gakuin University, Miyagi, Japan, , .

[43] Y. Nakamura, V. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Koma, Y. Mori, M. Polikarpov, G. Schierholz, A. Slavnov, H. Stüben, T. Suzuki,P. Uvarov, A. Veselov , "Finite Temperature Lattice QCD with Nf=2 Clover Fermion"., September 2003, JPS Workshop, Miyazaki World Convention Center, Miyazaki, Japan, , .

[44] Y. Nakamura, V.G. Bornyakov, M.N. Chernodub, Y. Mori, M.I. Polikarpov, G. Schierholz, H. Stuben, T. Suzuki, "Finite Temperature phase transition and monopole"., March 2004, JPS Workshop, Kyushu University, Hukuoka, Japan, , .

[45] Y. Nakamura, K. Ishiguro, Y. Mori, T. Sekido, T. Suzuki , "Dual Meissner effect and finite temperature phase transition in Landau gauge"., March 2005, JPS Workshop, Tokyo University of Science, Chiba, Japan, , .

[46] K.Ishiguro, Y.Mori, Y.Nakamura, T.Sekido and T.Suzuki M.N.Chernodub and M.I.Polikarpov V.I.Zakharov, "Vacuum type in Quenched SU(2) QCD"., September 2005, JPS Workshop, Osaka City University, Osaka, Japan, , .

C19

[47] 橋本耕一、出渕卓, ドメイン・ウォール・クォークを含んだポテンシャルの解析, 日本物理学会 2003 年北陸支部例会@金沢大学角間キャンパス、2003 年 11 月 22 日, .

[48] 橋本耕一、出渕卓、for the RBC Collaboration , Static Quark Potential from Two Flavor Dynamical Domain-wall QCD, 日本物理学会 2004 年春季大会@九州大学、2004 年 3 月 30 日, .

[49] 橋本耕一、出渕卓、for the RBC Collaboration, ドメインウォール QCD における静的ポテンシャルの解析, 日本物理学会 2004 年秋季大会@高知大学、2004 年 9 月, .

[50] 橋本耕一、出渕卓、for the RBC Collaboration , Study of Flavor singlet meson in two-flavor Domain Wall QCD, 日本物理学会 2005 年秋季大会@大阪市立大学、2005 年 9 月, .

[51] 関戸暢，石黒克也，森祥寛，中村宜文，鈴木恒雄, SU(2)QCD における双対マイスナー効果とモノポール, 日本物理学会 2005 年秋季大会,13pSH-13, 大阪市立大学,(2005.9.13) , .

[52] 石黒 克也, 森 祥寛, 中村 宜文, ○ 関戸暢,鈴木恒雄, SU(2) 格子ゲージ理論での双対マイスナー効果とゲージ依存性, 日本物理学会第 60 回年次大会,27aXE-7, 東京理科大学,(2005.3.27) , .

[53] 関戸 暢, 鈴木 恒雄, 格子 QCD モノポールのゲージ依存問題の研究, 日本物理学会 2004 年秋季大会,30aSC-6, 高知大学,(2004.9.30), .

[54] 関戸 暢,F.V.Gubarev, 鈴木 恒雄, ゲージに依らないモノポール, 日本物理学会第 59 回年次大会,29pZN-7, 九州大学,(2004.3.29), .

[55] 関戸 暢, The dual meissner effect in SU(2) lattice gauge theory, 北陸支部例会,I-p10, 富山大学,(2004.12.4), .

[56] 関戸 暢, ゲージによらないモノポールの定義, 北陸支部例会,A-a2, 金沢大学,(2003.11.22), .

[57] 関戸 暢,et al , 有限温度系フル QCD と 0 温度系ピュア QCD での閉じ込め機構の研究, ＫＥＫ 大型シミュレーション研究 ワークショップ超高速計算機が切り開く計算物理学の展望,KEK,(2006.2.6), .

[58] 関戸 暢, 格子 SU(2) でのゲージ不変なデュアルマイスナー効果, 金沢夏の学校, 内部講師, 山代温泉,(2005.8.26), .

[59] 関戸暢, 石黒克也，森祥寛，中村宜文，鈴木恒雄, Gauge invariance of the abelian dual Meissner effect in pure SU(2)QCD, 場の量子論の基礎的諸問題と応用,(2005.12.20), .

[60] 関戸暢, 石黒克也，森祥寛，中村宜文，鈴木恒雄, Color confinement in lattice QCD, 北陸信越地区 素粒子論グループ合宿, 鯖江,(2005.5.19), .

[61] 石黒克也、M.N.Chernodub、鈴木恒雄, Properties of monopole cluster in SU(2) gluodynamics at finite temperature , 2003 年 8 月 研究会「熱場の量子論とその応用」(京都大学基礎物理学研究所), .

[62] 石黒克也、M. N. Chernodub、鈴木恒雄, 有限温度 SU(2) Gluodynamics における monopole cluster の性質, 2003 年 9 月 日本物理学会 (宮崎ワールドコンベンションセンター・サミット), .

[63] 石黒克也、M. N. Chernodub、鈴木恒雄, Energy-entropy study of monopole cluster in quenched SU(2)QCD, 2003 年 12 月 研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」(京都大学基礎物理学研究所), .

[64] 石黒克也、M. N. Chernodub、鈴木恒雄, quenched SU(2) QCD における perfect lattice action と monopole 凝縮, 2004 年 3 月 日本物理学会 (九州大学), .

C19

ホームページの公開

[1] http://wwwhep.s.kanazawa-u.ac.jp/users/suzuki/

計画班: C20

研究課題名: 超対称ゲージ理論の非摂動ダイナミックスに基づくフレーバー物理

研究代表者: 安江 正樹 東海大学・教授
日置 善郎 徳島大学・教授

重要な成果

広く知られているフレーバー $SU(N_f)$ 対称性及び $SO(N_f)$ 対称性の磁気自由度による記述に対して、電気的自由度による記述を定式化した。インスタントン効果に着目した対称性の自発的破れと南部・ゴールドストーン場による構成が特徴である。また、このような非摂動効果の高エネルギー加速器実験における現象論的な検証のための解析方法を整備した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

$SO(N_c)$ 群に基づく強結合理論で、フレーバー $SU(N_f)$ 対称性の自発的破れを無矛盾に記述する有効超ポテンシャルの構築に向けた研究を開始した。また、非摂動ダイナミックスの発現を調べるため $e\bar{e} \to t\bar{t} \to \ell X$ 反応において，終状態レプトン角分布を調べ，角分布が tbW 結合にはほとんど依存しないことを見出した．

平成 14 年度:

平成 13 年度に見出した現象の成立条件を調べ，新しい定理「脱結合定理」を発見した．また、$SO(N_c)$ 群に基づく強結合理論で $N_f \geq N_c$ の時、フレーバー $SU(N_f)$ 対称性が自発的に $SO(N_c) \times SU(N_f - N_c) \times U(1)$ に破れる真空の存在を明らかにした。

平成 15 年度:

更に $SO(N_c)$ 群に基づく強結合理論で、$N_f = N_c - 2$ の時、フレーバー $SU(N_f)$ が自発的に $SO(N_c)$ に破れる真空の存在を明らかにし、インスタントン真空と密接に関係していることを指摘した。非摂動ダイナミックスの発現の解析には高い精度が要求されるが、閾値エネルギー付近のトップ生成時には、従来よりも遥かに高い解析精度を達成できることを示した。。

平成 16 年度:

$SO(N_c)$ 群に基づく強結合理論で、$N_f \geq N_c - 2$ の場合を統合的に調べ、ホロモロフィー性、アノーマリーの一致・インスタントン効果の再現、を示した。また、非摂動効果が更によく現れる光子光子衝突でのトップ・反トップ生成崩壊過程に関する詳細な解析を行い，幾つかの情報が得られると期待できることを明らかにした．

平成 17 年度:

前年度の成果を踏まえ、$SO(N_c)$ 群に基づく強結合理論のフレーバー物理への具体的な応用に備え、新たなフレーバー対称性発現の可能性として、ニュートリノにおける $\mu - \tau$ 対称性に着目し、ＣＰ対称性の破れと $\mu - \tau$ 対称性の破れの連携を詳細に調べた。同様に、トップおよびヒッグスの非標準相互作用を、$\gamma\gamma$ コライダーでのトップ対生成・崩壊反応を詳細に調べ，精度の高い解析が可能であることを明らかにした．

平成 18 年度:

ＣＰの破れのパラメータとフレーバーニュートリノ質量項の位相の一般的な関連を調べ $\mu - \tau$ 対称性の破れの性質を明らかにした。更に、$\mu\bar{\mu}$ コライダーに着目し，トップ相互作用の非標準相互作用でＣＰ対称性の破れがある場合には，縦偏極ビームを用いた非対称性の測定が有効であることが明らかとなった．

査読付国際誌への掲載

[1] M. Yasue, "Physics of strongly coupled $N = 1$ supersymmetric $SO(N_c)$ gauge theories", Phys. Lett. B 543 296-302 (2002).

[2] B. Grzadkowski and Z. Hioki, "Angular distribution of leptons in general $t\bar{t}$ production and decay", Phys. Lett. B 529 82-86 (2002).

[3] M. Yasue, "Flavor symmetry breaking in strongly coupled $N = 1$ supersymmetric $SO(N_c)$ gauge theory with $N_f = N_c - 2$", Eur. Phys. Lett. 62 677-683 (2003).

[4] B. Grzadkowski and Z. Hioki, "Decoupling of anomalous top decay vertices in angular distribution of secondary particles", Phys. Lett. B 557 55-59 (2003).

[5] K. Ikematsu, K. Fujii, Z. Hioki, Y. Sumino and T. Takahashi, "How well can we reconstruct the $t\bar{t}$ system near its threshold at future e^+e^- linear colliders?", Eur. Phys. J. C 29 1-10 (2003).

[6] M. Yasue, "Strongly coupled $N = 1$ supersymmetric $SO(N_c)$ gauge theories without magnetic degrees of freedom", Int. J. Mod. Phys. A 62 4323-4354 (2004).

[7] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "Probing anomalous top quark couplings induced by dimension-six operators at photon colliders", Nucl. Phys. B 689 108-126 (2004).

[8] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "Optimal-observable analysis of possible new physics using the b quark in $\gamma\gamma \to t\bar{t} \to bX$", Phys. Lett. B 593 189-197 (2004).

[9] I. Aizawa, T. Kitabayashi and M. Yasue, "Constraints on flavor neutrino masses and $\sin^2(2\theta_{12}) \gg \sin^2\theta_{13}$ in neutrino oscillations", Phys. Rev. D 71 075011 1-14 (2004).

[10] T. Kitabayashi and M. Yasue, "μ-τ symmetry and maximal CP violation", Phys. Lett. B. 621 133-138 (2004).

[11] I. Aizawa, T. Kitabayashi and M. Yasue, "Neutrino mass textures with maximal CP violation", Phys. Rev. D 72 055014 1-8 (2004).

[12] I. Aizawa, T. Kitabayashi and M. Yasue, "Determination of neutrino mass texture for maximal CP violation", Nucl. Phys. B 728 220-232 (2004).

[13] I. Aizawa and M. Yasue, "New type of complex neutrino mass texture and μ-τ symmetry", Phys. Rev. D 73 015002 1-10 (2005).

[14] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "Optimal beam polarizations for new-physics search through $\gamma\gamma \to t\bar{t} \to \ell X/bX$", JHEP 0511:029 (2005).

[15] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "Studying possible anomalous top-quark couplings at photon colliders", Acta Phys. Polon. B 36 3531-3540 (2005).

[16] K. Fuki and M. Yasue, "What does μ-τ symmetry imply about neutrino mixings?", Phys. Rev. D73 055014 1-8 (2006).

[17] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "New physics at the top", Acta Phys. Polon. B37 1085-1092 (2006).

[18] B. Grzadkowski, Z. Hioki, K. Ohkuma and J. Wudka, "New-physics search through $\gamma\gamma \to t\bar{t} \to \ell X/bX$", Nucl. Phys. Proc. Suppl. 157 246-250 (2006).

[19] T. Baba and M. Yasue, "Correlation between leptonic CP violation and μ-τ symmetry breaking", Phys. Rev. D75 055001 1-14 (2007).

国際会議招待講演

[1] M. Yasue, "Dynamical Flavor Symmetry Breaking in Supersymmetric Gauge Theories", 9th International Workshop on Similarity and Diversity (SID-9), 17-19, 2004, Daejeon, Korea, 2004 年 4 月 19 日.

[2] Z. Hioki, "What will LC tell us on Top/QCD?", International Workshop on Physics and Experiments with Future Electron-Positron Linear Colliders (LCWS2004), April 19-23, 2004, Le Carre des Sciences, Paris, France, 2004 年 4 月 23 日.

学会発表

[1] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, 「光子光子衝突における CP 非保存トップ対生成」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 25 日.

[2] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子衝突におけるトップ対生成・崩壊過程での CP の破れ」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[3] 池松克昌, 隅野行成, 高橋徹, 藤井恵介, 日置善郎, 「電子・陽電子リニアコライダー実験の $t\bar{t}$ 閾値領域における CP 非保存観測量」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 25 日.

[4] B. Grzadkowski, 日置善郎, 「トップクォークについての新しい脱結合定理」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 14 日.

[5] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子-光子衝突実験におけるトップクォーク生成?崩壊と非標準相互作用」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 11 日.

[6] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子衝突でのトップ対生成による最適観測量解析」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[7] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子散乱によって生成されるトップクォークと非標準相互作用」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 27 日.

[8] 相澤一郎, 安江正樹, 「ニュートリノの大混合から示唆される CP の破れ方への制限」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[9] 相澤一郎, 北林照幸, 安江正樹, 「CP の破れが最大である場合のニュートリノ質量行列」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 12 日.

[10] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「$\gamma\gamma \to t\bar{t} \to \ell X/bX$ 過程から探る非標準相互作用」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[11] 相澤一郎, 安江正樹, 「μ-τ 対称性の破れを持つニュートリノ質量行列と CP 非保存」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[12] 婦木健一, 安江正樹, 「μ-τ 対称性の破れの帰結とニュートリノ混合」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

ホームページの公開

[1] http://www.ias.tokushima-u.ac.jp/physics/theor/members/hioki-jp.html

計画班: D21

研究課題名: 電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用

研究代表者: 吉村 太彦　岡山大学大学院・教授
棚橋 誠治　東北大学大学院・助教授
諸井 健夫　東北大学大学院・助教授
久野 純治　東京大学宇宙線研究所・助教授

重要な成果

宇宙と量子の世界をつなぐ重要な接点である、ニュートリノ質量の性格と質量絶対値、混合角すべてを決定する新たな実験手段として、準安定原子のニュートリノ対生成が有力な方法であることを提唱した。暗黒物質の直接および間接的探索に関わる原子核との弾性散乱過程および対消滅過程に対する電弱相互作用による量子補正を評価した。グラビティー問題を避けるために必要な宇宙再加熱温度の上限について、詳細な計算を行った。ヒッグスレス模型について詳細な研究を行い、この模型が現在の精密測定と矛盾しないことを見いだした。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
吉村はトンネル効果が宇宙の環境中でどのように起こるのかを、実時間形式を用いて基礎から研究した。棚橋は余剰次元ゲージ理論におけるカイラル対称性の力学的破れの研究を行った。諸井は Curvaton mechanism に関する研究を行なった。

平成 14 年度:
吉村は引き続き、環境中でのトンネル効果を研究し、バリアークロス現象が環境からのエネルギー流入によって促進される機構を明らかにした。棚橋はリトルヒッグス模型と隠れた局所対称性模型との関連を研究した。諸井は Curvaton mechanism に関する研究を引続き行なった。久野は超対称模型の予言する EDM とフレーバーの物理との関係を調べた。

平成 15 年度:
吉村は宇宙のバリオン非対称生成に関して注目されているレプトン生成シナリオが実験室でどのように検証されうるかを、様々な反応に関して研究した。棚橋は余剰次元模型におけるトップ対凝縮の可能性を探った。諸井は Curvaton がインフレーション模型に与える影響について議論した。久野は電弱相互作用をする暗黒物質の対消滅過程に対する非摂動論的効果を評価した。

平成 16 年度:
吉村は黒エネルギーの存在をインフレーションと関連づけ、素粒子のエネルギーハイラルキーと同時に解決する模型を提唱した。棚橋はヒッグスレス模型における電弱オブリーク補正の構造を明らかにした。諸井は長寿命粒子が宇宙初期の元素合成に与える影響について研究した。久野は超対称模型の予言する暗黒物質と原子核との弾性散乱に対する量子補正を評価した。

平成 17 年度:
吉村は新たなレーザー増幅機構を用いてレプトン数非保存を検証する実験を提案した。棚橋はヒッグスレス模型における電弱補正の研究を行った。諸井はグラビティーノが元素合成に与える影響について、精密な計算を行なった。久野は暗黒物質直接探索の 1 つの方法として電子加速器を使うアイデアを提唱した。

平成 18 年度:
吉村は、準安定原子にレーザーを照射してニュートリノ対生成を促進する方法が、ニュートリノのマヨラナ性を検証し、ニュートリノ質量行列を決定する有力な方法であることを示した。諸井は右巻スニュートリノが暗黒物質となる模型を提唱した。久野は電弱相互作用をする暗黒物質の宇宙の残存量の精密計算を行った。棚橋はスリーサイトヒッグスレス模型を提唱し、その高次補正の計算を行った。

査読付国際誌への掲載

[1] V. Gusynin, M. Hashimoto, M. Tanabashi and K. Yamawaki, "Dynamical chiral symmetry breaking in gauge theories with extra dimensions", Phys. Rev. D **65**, 116008 (2002).

[2] T. Moroi and T. Takahashi, "Cosmic density perturbations from late-decaying scalar condensations", Phys. Rev. D **66**, 063501 (2002).

[3] R. Kitano, T. Moroi and S. f. Su, "Top-squark study at a future e^+e^- linear collider", HEP **0212**, 011 (2002).

[4] M. Harada, M. Tanabashi and K. Yamawaki, "pi+ pi0 mass difference in the hidden local symmetry: A dynamical origin of little Higgs", Phys. Lett. B **568**, 103 (2003).

[5] T. Moroi and H. Murayama, "CMB anisotropy from baryogenesis by a scalar field", Phys. Lett. B **553**, 126 (2003).

[6] J. Hisano and Y. Shimizu, "GUT relation in neutrino induced flavor physics in SUSY SU(5) GUT", Phys. Lett. B **565**, 183 (2003).

[7] J. Hisano, K. Kawagoe and M. M. Nojiri, "A detailed study of the gluino decay into the third generation squarks at the CERN LHC", Phys. Rev. D **68**, 035007 (2003).

[8] S. Matsumoto and M. Yoshimura, "Time evolution of tunneling in thermal medium: Environment-driven excited tunneling", Phys. Rev. D **69**, 123514 (2004).

[9] M. Hashimoto, M. Tanabashi and K. Yamawaki, "Most attractive channel analysis in the top mode standard model with extra dimensions", Phys. Rev. D **69**, 076004 (2004).

[10] R. S. Chivukula, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Generalized Weinberg sum rules in deconstructed QCD", JHEP **0406**, 004 (2004).

[11] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "The structure of corrections to electroweak interactions in Higgsless models", Phys. Rev. D **70**, 075008 (2004).

[12] V. P. Gusynin, M. Hashimoto, M. Tanabashi and K. Yamawaki, "Gauged Nambu-Jona-Lasinio model with extra dimensions", Phys. Rev. D **70**, 096005 (2004).

[13] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Universal non-oblique corrections in Higgsless models and beyond", Phys. Lett. B **603**, 210 (2004).

[14] T. Moroi and T. Takahashi, "Correlated isocurvature fluctuation in quintessence and suppressed CMB anisotropies at low multipoles", Phys. Rev. Lett. **92**, 091301 (2004).

[15] K. Hamaguchi, M. Kawasaki, T. Moroi and F. Takahashi, "Curvatons in supersymmetric models", Phys. Rev. D **69**, 063504 (2004).

[16] J. Hisano, S. Matsumoto and M. M. Nojiri, "Explosive dark matter annihilation", Phys. Rev. Lett. **92**, 031303 (2004).

[17] J. Hisano and Y. Shimizu, "B $\rightarrow$ Phi K(S) versus electric dipole moment of Hg-199 atom in supersymmetric models with right-handed squark mixing", Phys. Lett. B **581**, 224 (2004).

[18] J. Hisano and Y. Shimizu, "Hadronic EDMs induced by the strangeness and constraints on supersymmetric CP phases", Phys. Rev. D **70**, 093001 (2004).

[19] J. Hisano, M. Kakizaki, M. Nagai and Y. Shimizu, "Hadronic EDMs in SUSY SU(5) GUTs with right-handed neutrinos", Phys. Lett. B **604**, 216 (2004).

[20] C. S. Lim, E. Takasugi and M. Yoshimura, "A variety of lepton number violating processes related to Majorana neutrino masses", Prog. Theor. Phys. **113**, 1367 (2005).

[21] M. Yoshimura, "Towards resolution of hierarchy problems in a cosmological context", Phys. Lett. B **608**, 183 (2005).

[22] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Electroweak corrections and unitarity in linear moose models", Phys. Rev. D **71**, 035007 (2005).

[23] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Deconstructed Higgsless models with one-site delocalization", Phys. Rev. D **71**, 115001 (2005).

[24] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Ideal fermion delocalization in Higgsless models", Phys. Rev. D **72**, 015008 (2005).

[25] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Multi-gauge-boson vertices and chiral Lagrangian parameters in higgsless models with ideal fermion delocalization", Phys. Rev. D **72**, 075012 (2005).

[26] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Ideal fermion delocalization in five dimensional gauge theories", Phys. Rev. D **72**, 095013 (2005).

[27] M. Kawasaki, K. Kohri and T. Moroi, "Hadronic decay of late-decaying particles and big-bang nucleosynthesis", Phys. Lett. B **625**, 7 (2005).

[28] M. Kawasaki, K. Kohri and T. Moroi, "Big-bang nucleosynthesis and hadronic decay of long-lived massive particles", Phys. Rev. D **71**, 083502 (2005).

[29] M. Ibe, T. Moroi and T. Yanagida, "Dark matter and baryon asymmetry of the universe in large-cutoff supergravity", Phys. Lett. B **620**, 9 (2005).

[30] J. Hisano, S. Matsumoto, M. M. Nojiri and O. Saito, "Direct detection of the Wino- and Higgsino-like neutralino dark matters at one-loop level", Phys. Rev. D **71**, 015007 (2005).

[31] J. Hisano, S. Matsumoto, M. M. Nojiri and O. Saito, "Non-perturbative effect on dark matter annihilation and gamma ray signature from galactic center", Phys. Rev. D **71**, 063528 (2005).

[32] J. Hisano, M. Kakizaki and M. Nagai, "Hadronic EDM constraints on orbifold GUTs", Phys. Lett. B **624**, 239 (2005).

[33] K. Bamba and M. Yoshimura, "Curvaton scenario in the presence of two dilatons coupled to the scalar curvature", Prog. Theor. Phys. **115**, 269 (2006).

[34] T. Asaka, K. Ishiwata and T. Moroi, "Right-handed sneutrino as cold dark matter", Phys. Rev. D **73**, 051301 (2006).

[35] J. Hisano, S. Matsumoto, O. Saito and M. Senami, "Heavy Wino-like neutralino dark matter annihilation into antiparticles", Phys. Rev. D **73**, 055004 (2006).

[36] J. Hisano, M. Nagai, M. M. Nojiri and M. Senami, "Investigation Of Possible Dark Matter Direct Detection In Electron Accelerators", Phys. Rev. D **73**, 031701 (2006).

[37] R. S. Chivukula, B. Coleppa, S. Di Chiara, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "A Three Site Higgsless Model", Phys. Rev. D **74**, 075001 (2006).

[38] S. Matsuzaki, R. S. Chivukula, E. H. Simmons, and M. Tanabashi, "One-Loop Corrections to the S and T Parameters in a Three Site Higgsless Model", Phys. Rev. D **75**, 073002 (2007).

[39] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H. J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, "Deconstruction and Elastic $\pi\pi$ Scattering in Higgsless Models", Phys. Rev. D **75**, 035005 (2007).

[40] R. S. Chivukula, E. H. Simmons, S. Matsuzaki, and M. Tanabashi, "Three Site Higgsless Model at One Loop", Phys. Rev. D **75**, 075012 (2007).

国際会議招待講演

[1] 吉村太彦, "", Cairo International Conference On High-Energy Physics (CICHEP 2001), 2001 年 1 月 9–14 日.

[2] 吉村太彦, "How is the Matter Dominated Universe Created", 6th "Science in Japan", 2001 年 6 月 15 日.

[3] 吉村太彦, "B-L genesis: generalities and impact on neutrino physics", 5th Workshop On Neutrino Oscillations And Their Origin (NOON2004), 2004 年 2 月 11-15 日.

[4] 吉村太彦, "Leptogenesis: Lepton Number Violation in Cosmology and Particle Physics", 6th International Workshop On Neutrino Factories And Superbeams (NuFact 04), 2004 年 7 月 26 日–8 月 1 日.

[5] 吉村太彦, "Towards resolution of hierarchy problems in a cosmological context", Tamura symposium held at Texas University, 2004 年 11 月 18 日-20 日.

[6] 吉村太彦, "New method of exploring physics far beyond the standard model", 7th International Workshop On Neutrino Factories And Superbeams (NuFact 05), 2005 年 6 月 21–26 日.

[7] 吉村太彦, "Exploring Fundamental Physics far beyond Standard Model by High Quality Laser", International Workshop on NANOBEAM 2005, 36th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop, 2005 年 10 月 17 日-21 日.

[8] 吉村太彦, "LENNON by high quality laser", Neutrino Nuclear Responses 2005, 2005 年 12 月.

[9] 吉村太彦, "Exploring short distance physics by high quality laser", ICFA 38th Advanced Beam Dynamics and 9th Advanced and Novel Accelerators Joint Workshop on Laser-Beam Interactions and Laser and Plasma Accelerators, 2005 年 12 月 12–16 日.

[10] 吉村太彦, "Towards Neutrino Spectroscopy and Detection of Relic Neutrino", XII International Workshop on Neutrino Telescope, 20073 月 6–9, 日.

[11] 棚橋誠治, "An evaluation of f_π from $\alpha_s(M_Z)$) in the Schwinger-Dyson approach", 2002 International Workshoip on Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories, 2002 年 12 月 10 日.

[12] 棚橋誠治, "Higgsless models with and without an extra dimension", 2004 International Workshoip on Dynamical Symmetry Breaking , 2004 年 12 月 21 日.

[13] 棚橋誠治, "Electroweak Precision Tests and Physics Beyond the Standard Model", Topical Seminar on Frontier of Particle Physics 2006: Beyond the Standard Model, Beijing, 2006 年 8 月 7 日.

[14] 棚橋誠治, "Higgsless Models and Deconstruction", 2006 International Workshp SCGT06: Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories, Nagoya, 2006 年 11 月 23 日.

[15] 諸井健夫, “Cosmic Microwave Background from Late-Decaying Scalar Condensations”, SUSY’02, 2002 年 6 月 17–23 日.

[16] 諸井健夫, “The Curvaton Mechanism”, KIAS/KAIST jouint workshop on Physics beyond the Standard Model, 2003 年 5 月 6–10 日.

[17] 諸井健夫, “Curvaton and Supersymmetry”, COSMO’ 03, 2003 年 8 月 25–29 日.

[18] 諸井健夫, “Curvaton mechanism and its implication to (s)neutrino physics”, SEESAW04, 2004 年 2 月 23–25 日.

[19] 諸井健夫, “Hadronic decay of the gravitino in the early universe and its implications to particle cosmology”, PASCOS04, 2004 年 8 月 16–22 日.

[20] 諸井健夫, “Gravitino Cosmology, Inflation, and Large-Cutoff Supergravity”, The Origin of the Primordial Density Perturbation, 2005 年 3 月 22–24 日.

[21] 諸井健夫, “Gravitino production in the early universe and its implication to particle cosmology”, PASCOS05, 2005 年 5 月 30–6 月 4 日.

[22] 久野純治, “Neutrino and flavor CP physics”, Second Workshop on the Discovery Potential of an Asymmetric B Factory at 10^{36} Luminosity, 2003 年 10 月 24 日.

[23] 久野純治, “Lepton Flavor Violation in Tau Decay (theory)”, Fifth Workshop on Higher Luminosity B Factory, 2003 年 9 月 25 日.

[24] 久野純治, “EDMs in the SUSY GUTs”, 6th Internatonal Workshop on Neutrino Factories and Superbeams, 2004 年 6 月 16 日.

[25] 久野純治, “Neutrino-inspired flavor physics”, Fujihara Seminar On Neutrino Mass And Seesaw Mechanism (SEESAW 1979-2004), 2004 年 2 月 23 日.

[26] 久野純治, “CP violation in the seesaw mechanism”, SEESAW25: International Conference On The Seesaw Mechanism And The Neutrino Mass, 200 年 6 月 10 日.

[27] 久野純治, “Flavor and CP violation in SUSY seesaw models”, 2th International Conference On Supersymmetry And Unification Of Fundamental Interactions (SUSY 04), 200 年 6 月 17 日.

[28] 久野純治, “Lepton Flavor Violation: Theoretical point of view”, 8th International Workshop On Tau Lepton Physics (Tau 04), 2004 年 9 月 14 日.

[29] 久野純治, “Lepton-Flavor Violation in Tau-Lepton Decay and the Related topics”, International Workshop On Discoveries In Flavour Physics At E+ E- Colliders (DIF 06), 2006 年 2 月 28 日.

[30] 久野純治, “Lepton-flavor violation in SUSY models and the related topics ”, International Scoping Study of a future Neutrino Factory and Superbeam Facility , 2006 年 1 月 23 日.

D21

国内会議招待講演

[1] 吉村太彦,「宇宙と物質の起源：宇宙史の物理学的解読」, 21 世紀 COE 第 1 回国際フォーラム（名古屋大学）, 2005 年 1 月 28–29 日.

[2] 吉村太彦,「素粒子物理からみた宇宙論-I、II、III」, 第 11 回 ICEPP シンポジウム (東京大学素粒子物理国際研究センター), 2004 年 2 月 20-22 日.

[3] 吉村太彦,「Hierarchy problems in cosmological context」, 研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」(京都大学基礎物理学研究所), 2004 年 12 月 16–18 日.

[4] 吉村太彦, 「Exploring physics beyond standard model by high quality laser」, Sapporo Autumn School, 2005 年 10 月 26–28 日.

[5] 吉村太彦, 「高性能レーザーを用いた素粒子物理」, ワークショップ「レーザープラズマの天体・惑星物理への応用」(大阪大学レーザーエネルギー学研究所), 2005 年 11 月 4 日.

[6] 吉村太彦, 「宇宙のバリオン数と基礎物理学」, 基研研究会 「学問の系譜-アインシュタインから湯川・朝永へ」(京都大学基礎物理学研究所), 2005 年 11 月 7–8 日.

[7] 久野純治, 「暗黒物質対消滅起源のガンマ線」, CANGAROO 望遠鏡によるガンマ線天文学の新展開, 2003 年 12 月 11 日.

[8] 久野純治, 「Dark matter direct detection in electron accelerators」, 東北大学 21 世紀 COE「物質階層融合科学の構築」素粒子・天文合同研究会「初期宇宙の解明と新たな自然像」, 2005 年 9 月 20 日.

[9] 棚橋誠治, 「Higgsless models with and without an extra dimension」, 日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大学野田キャンパス), 2005 年 3 月 26 日.

学会発表

[1] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, 「光子光子衝突における CP 非保存トップ対生成」, 日本物理学会 2001 年秋期大会, 2001 年 9 月 25 日.

[2] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子衝突におけるトップ対生成・崩壊過程での CP の破れ」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[3] 池松克昌, 隅野行成, 高橋徹, 藤井恵介, 日置善郎, 「電子・陽電子リニアコライダー実験の $t\bar{t}$ 閾値領域における CP 非保存観測量」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 25 日.

[4] B. Grzadkowski, 日置善郎, 「トップクォークについての新しい脱結合定理」, 日本物理学会 2002 年秋期大会, 2002 年 9 月 14 日.

[5] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子-光子衝突実験におけるトップクォーク生成?崩壊と非標準相互作用」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月 11 日.

[6] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子衝突でのトップ対生成による最適観測量解析」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[7] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「光子光子散乱によって生成されるトップクォークと非標準相互作用」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2004 年 9 月 27 日.

[8] 相澤一郎, 安江正樹, 「ニュートリノの大混合から示唆される CP の破れ方への制限」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 25 日.

[9] 相澤一郎, 北林照幸, 安江正樹, 「CP の破れが最大である場合のニュートリノ質量行列」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 12 日.

[10] B. Grzadkowski, 日置善郎, 大熊一正, J. Wudka, 「$\gamma\gamma \to t\bar{t} \to \ell X/bX$ 過程から探る非標準相互作用」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

[11] 相澤一郎, 安江正樹, 「μ-τ 対称性の破れを持つニュートリノ質量行列と CP 非保存」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

[12] 婦木健一, 安江正樹, 「μ-τ 対称性の破れの帰結とニュートリノ混合」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 30 日.

ホームページの公開

[1] 岡山大学理学部附属量子宇宙研究センター
http://fphy.hep.okayama-u.ac.jp/center-qu/majolennon/

計画班: D22

研究課題名: ダークマターの測定とその構造の解明

研究代表者: 表 實 慶應義塾大学・教授
青木 健一郎 慶應義塾大学・教授
岩崎 愛一 二松学舎大学・教授
肥川 隆夫 大妻女子大学・教授

重要な成果

ダークマターの測定とその構造の解明を目指す本計画班では、「ダークマターを構成する素粒子の正体」、「宇宙初期におけるその生成メカニズム」、「宇宙質量密度に占めるその割合の測定」の３つの課題を取り上げ、それぞれの側面で重要な成果をあげたが、素粒子物理学が存在を予言したアクシオンをダークマターの候補として考え、その測定法を提案した論文「Ultra High Energy Cosmic Rays and Gamma Rays Bursts from Axion Stars:Proc. 9th Marcel Grossman Meeting on General Relativity」は、具体的に観測的な検証法を指摘している点で極めて重要である。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

弦理論と関係の深い large N 極限の 2 次元 QCD のふるまい、特に質量不等式について解析した。アクシオン星と中性子星との衝突を起源とするガンマー線バーストの発生メカニズムを提案した。リー環に値をもつソリトン方程式を、関数間の積をモヤル積に置換えた方式で導いた。重力レンズ効果を利用したダークマターの測定法を調べた。

平成 14 年度:

有限温度の非平衡の格子場の理論における線形応答、局所平衡の破れ方について、第一原理より定量的に求めた。炭素　カルシウム等の原子核中でアルファー粒子が凝縮する可能性を、渦糸励起の視点から議論。Moyal 量子化におけるワイル順序の真空とノーマル順序の真空の同等性を示した。ダークマターによる重力レンズ効果を数値的に解析した。

平成 15 年度:

超弦理論の非対称オービフォルド真空における摂動論的 2 ループ次の宇宙定数を計算して解析的に求め，その性質を明らかにした．クォーク物質にカラー強磁性相が存在する可能性を提案。ヒルベルト空間を参照せずに関数とスター積のみを用いた量子化法を調べた。非一様宇宙における多重レンズ効果を解析した。

平成 16 年度:

超弦理論の非対称オービフォルド真空の構築のしかた，そしてその摂動論的な性質を調べた．カラー強磁性相の一般的性質を議論。重力レンズ効果を用いて非一様宇宙における光の伝播方程式を導出。

平成 17 年度:

非平衡の格子の場の理論における第一原理からの運動論的な解析的計算と数値シミュレーションとの結果がどのように一致するか ϕ^4 理論を用いて明らかにした．中性子星内部に存在しうる、カラー強磁性相にあるクォーク物質の統計的性質を議論。逆散乱法を用いて 5 次元アインシュタイン方程式の静的な解を無限個求めた。量子化された場の理論において場を対角化する表示を提案した。

平成 18 年度:

非平衡状況での場の理論の古典的な振る舞いについて、Φ^4 理論の熱輸送係数とその振る舞いを解析的に調べ、摂動論と数値計算で得られた結果の関係を明らかにした。また非平衡物理の量子力学的振る舞いについて調べ、これらの系の一般的な性質を明らかにした。光円錐量子化法を用いてクォーク物質中のグルーオン状態を調べ、中性子星の持つ強磁場の起源とハドロン内部のカラーグラス凝縮がこの解析で明らかになったグルーオン状態で説明できる理解できる可能性を指摘した。類似性を議論。5 次元のアインシュタイン方程式とアインシュタイン・マックスウェル方程式の定常的な解を、逆散乱法を用いて系統的に求めた。

査読付国際誌への掲載

[1] K. Aoki1 and D. Kusneov, "EPU β Model: Boundary Jumps, Fourier's Law and Scaling", Phys. Rev. 86 (2001) 4029-4032.

[2] T.Koikawa, "Soliton Equations Extracted from the Noncommutative Zero Curvature Equation", Orog. Theor. Phys. 105 (2001) 1045-1057.

[3] T. Koikawa, "On the Vacuum in the Moyal Quantizationr", prog. Theor. Phys. 106 (2001)1027-1035.

[4] T. Koikawa, "Role of the Imaginary Part in the Moyal Quantization", prog. Theor. Phys. 106 (2001)1297-1300.

[5] K. Aoki and K. Ito, "Meson mass differences in two dimensional guaged four Fermion models", Phys. Rev. D65 (2002) 025003 1-11.

[6] T. Koikawa , "Equivalence of Weyl Vacuum and Normal ordered Vacuum in the Moyal Quantization", Prog. Theor. Phys. 107(2002) 1061-1067.

[7] T. Hori, T. Koikawa and T.Maki, "Moyal Quantization For Constarained System", Prog. Theor. Phys. 108 (2002) 1123-1141.

[8] A. Iwasaki, "Skyrmion-pseud0 Skyrmion Transition in bilayer quantum Hall States at $\nu = 1$ ", Phys. Rev. B67 (2002) 153307-1.

[9] K. Aoki, D. Kusnezov, "Violations of Local Equilibrium and Linear Response in Classical Lattice Systems", Phys. Lett. **A309** (2003) 377—381.

[10] K. Aoki, D. Kusnezov, "On the Violation of Local Equilibrium and Linear Response, Phys. Rev. **A309** (2003) 377—381.

[11] K. Aoki, D. Kusnezov, "Lyapunov exponents, transport and the extensivity of dimensional loss in thermal gradients", Phys. Rev. **E68** (2003) 056204-1—6.

[12] A. Iwasaki, "Pseudo-Skyrmion Effects on Tunneling Conductivity in Coherent Bilayer Quantum Hall States at ν =1. ", Phys. Rev. B67 (2003) 125303.

[13] A. Iwasaki and O. Morimatsu, "Color Ferromagnetism in Quark Matter", Phys. Lett. B571 (2003) 61 .

[14] T. Hori and K. Koikawa, "Quantization via Star Puroducts", Prog. Theor. Phys. 11 (2003)136.

[15] K. Aoki, D. Kusnezov, "Spatial Distributions of Observables in Systems under Thermal Gradients", Phys. Rev. **E 70**, 051203 (8 pages) (2004).

[16] K. Aoki, Eric D'Hoker, D.H. Phong, "Two-loop superstrings on orbifold compactifications", Nucl. Phys. **B688** (2004) 3—69.

[17] K. Aoki, Eric D'Hoker, D.H. Phong, "On the construction of asymmetric orbifolds", Nucl. Phys. **B695** (2004) 132—168.

[18] A. Iwazaki, O. Morimatsu, T. Nishikawa and M. Ohtani, "Color Ferromagnetism of Quark Matter and Quantum Hall States of Gluons in SU(3) Gauge Theory", Phys. Lett. B579, (2004) 347 .

[19] A. Iwasaki, "QUANTUM HALL STATES OF GLUONS IN QUARK MATTER", JPhys. Rev. D71(2005) 034014.

[20] A. Iwasaki , O. Morimatsu, T. Nishikawa and M. Ohtani, “COLOR FERROMAGNETISM OF QUARK MATTER: A POSSIBLE ORIGIN OF STRONG MAGNETIC FIELD IN MAGNETARS”, Phys. Rev. D72(2005) 114003.

[21] T. Koikawa, “Infinite Number of Soliton Solutions to 5-dimensional Vacuum Einstein Equation”, Prog. Theor. Phys. 114(2005) 793-803.

[22] H. Yoshida, K. Nakamura and M. Omote, “The Continuous Limit of the Lens Effect and the Optical Scalar Equation”, Mon. Not. R. Astron. Soc. 358(2005) 39-48.

[23] K. Aoki, J. Lukkarinen, H. Spohn, “Energy Transport in Weakly Anharmonic Chains”, J. Stat. Phys. 124 (2006)1105-1129.

[24] A. Iwasaki, “Light Cone Quantization and Savvidy Instability in Dense Quark Matter”, Phys. Rev. D75 (2007)034020.

[25] T. Azuma, T. Koikawa, “Infinite Number of Stationary Soliton Solutions to Five-Dimensional Vacuum Einstein Equation”, Prog. Theor. Phys. 116(2006) 319-328.

[26] M. Omote and S. Kamefuchi, “On the Wave Aspect of Relativistic Quantum Fields”, Prog. Theor. Phys. 115(2006) 951-978.

学会発表

[1] 岩崎愛一,「2 層量子ホール状態におけるスキルミオン，擬スキルミオン転移」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月.

[2] 岩崎愛一,「アルファークラスター凝縮核における渦糸励起」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2002 年 9 月.

[3] 岩崎愛一,「2 層量子ホール状態における擬スキルミオンの，面間トンネル電流への影響」, 日本物理学会 2004 年秋期大会, 2002 年 9 月.

[4] 岩崎愛一,「カラー強磁性とカラー超伝導」, 日本物理学会 2003 年年次大会, 2003 年 3 月.

[5] 岩崎愛一,「SU(3) カラー強磁性とカラー超伝導の共存相」, 日本物理学会 2003 年秋期大会, 2003 年 9 月.

[6] 岩崎愛一,「中性子星におけるカラー強磁性相とマグネッター」, 日本物理学会 2005 年年次大会, 2004 年 3 月.

[7] 岩崎愛一,「QCD におけるサビディー真空の安低化とグルーオンの量子ホール状態」, 日本物理学会 200 年秋期大会, 2005 年 9 月.

[8] 岩崎愛一,「カラー強磁性相にあるクォーク物質の化学ポテンシャル」, 日本物理学会 200 年秋期大会, 2004 年 9 月.

[9] 岩崎愛一,「中性子星内部のカラー強磁性相」, 日本物理学会 2005 年年次大会, 2005 年 3 月.

[10] 岩崎愛一,「Color Ferromagnetism and Color Superconductivity in Dense Quark Matter」, 日本物理学会 2005 年秋季大会, 2005 年 9 月.

計画班: D23

研究課題名: 超弦理論の宇宙論による検証

研究代表者: 細谷 暁夫 東京工業大学・教授
石原 秀樹 大阪市立大学・教授
伊藤 克司 東京工業大学・助教授
白水 徹也 東京工業大学・助教授
綿引 芳之 東京工業大学・助手
椎野 克 東京工業大学・助手
野尻 伸一 名古屋大学・教授

重要な成果

ブレーン時空で宇宙論的な洞察をする際に問題となるのが、いかにして曲がった余剰次元を解くかということである。そこで、4 次元の低エネルギー有効理論を得るために余剰次元方向について長波長展開による解法を考案した。更に、この有効理論を用いて、より現実的な超弦理論に基づいた系に応用し、宇宙項と重力定数との関係を明らかにした。一方で、ブレーン宇宙では宇宙論的なスケールで重力の法則の変更を伴うような模型が存在するが、そのような場合の宇宙の大規模構造の解析を行い、SDSS(スローンデジタルスカイサーベイ) による銀河の観測データと比較することで模型に対する制限について考察を行った。

年度毎の進展と成果

当班の研究は、高次元時空、非可換空間、量子力学それぞれとの関連として行われている。

平成 13 年度:

時間に依存する背景場で具体的に解ける平面波時空上の弦理論について研究した。特に,D ブレインを背景場とする弦理論の平面波極限について研究し, 弦の運動方程式がいくつかの場合に厳密に解けることを示した。

平成 14 年度:

昔風双対変換を D-Brane を含む superstring 理論へ適応した。又、観測により確立された現在の宇宙の加速膨張を説明するシナリオとしてファントム物質や 1/R 重力理論の問題点とその解決法を明らかにした。

平成 15 年度:

ブラックホール時空における量子的な思考実験を行うことを想定し、観測の後に測定器をブラックホールに放り込む場合の一般化された第二法則を調べた。ブラックホール固有のエントロピーと通常の熱力学的エントロピーの和として定義される一般化されたエントロピーの増分は、測定器を放り込まなければ得られたであろう情報量以上である。

平成 16 年度:

ブレーンの衝突過程に適用できる有効理論の導出を行ない、ブレーンダイナミクスによるバリオン生成について吟味した。一方、高次元時空におけるブレーン時空における保存量の定義とそれを用いた安定性についての議論を行い、高次元ブラックホール生成の数値解析を行った。

平成 17 年度:

Minkowski 時空において対称性をもつ弦を分類し、特に 5 次元 Einstei-Maxwell 系で，無限遠においてコンパクトな余剰次元をもち，かつ，4 次元的に平坦な時空に漸近するような性質をもつブラックホール解を構成した。さらに背景次元として 10+2 次元を持つ超弦理論の量子化、および、その量子論的な構造を調べた。この理論は複雑な代数構造を持つのだが 10+2 次元よりも高次元の理論とみるならば、その構造は単純なものとなった。

平成 18 年度:

非可換幾何学に基づいた方法により量子重力理論の代数化された定式化を行った。この定式化は非可換空間に適応可能であるが、さらに重力の量子化を行うときに拘束条件が自明になるという利点がある。量子補正を求めるとこれは場の理論による結果と一致する。

査読付国際誌への掲載

[1] H. Ishihara, “Causality of the brane universe,”, Phys. Rev. Lett. **86**, 381 (2001).

[2] K. Nakamura and H. Ishihara,, “Dynamics of a string coupled to gravitational waves. II: Perturbations propagate along an infinite Nambu-Goto string,”, Phys. Rev. D **63**, 127501 (2001).

[3] Takeo Araki and Katsushi Ito , “ Scattering of Noncommutative (n,1) Solitons ”, Physics Letters B516 (2001) 123–133.

[4] Katsushi Ito and Hiroshi Kunitomo , “ Hybrid Superstrings on Singular Calabi-Yau fourfolds ”, Physics Letters B536 (2002) 327–337 .

[5] Hiroyuki Fuji , Katsushi Ito and Yasuhiro Sekino , “ Penrose Limit and String Theories on Various Brane Backgrounds ”, Journal of High Energy Physics 0211 (2002) 005 .

[6] Takeo Araki and Katsushi Ito , “On the Moduli Space of Noncommutative Multi-solitons at Finite theta”, Physics Letters B549 (2002) 204–212 .

[7] Katsuhito Yasuno (Tokyo Inst. Tech.), Tatsuhiko Koike (Keio U. and Maryland U.) and Masaru Siino, “THURSTON’S GEOMETRIZATION CONJECTURE AND COSMOLOGICAL MODELS. ”, Published in Class.Quant.Grav.18:1405-1420,2001 ,Oct 2000. 18pp.

[8] A. Hosoya,A. Carlini and T. Shimomura , “Generalized Second Law of Black Hole Thermodynamics and Quantum Information Theory”, Phys.Rev. D63 104008 -1-8(2001) .

[9] A.Carlini and A.Hosoya, “Quantum,Quantum computers and unstructured search:finding and counting items with an arbitrarily entangeled initial state”, Physics Letters A280 114-120(2001).

[10] A.Carlini and A.Hosoya, “Quantum,Quantum computers and unstructured search:finding and counting items with an arbitrarily entangeled initial state”, Physics Letters A280 114-120(2001).

[11] Auhtor1, “Title of Paper”, Journal.

[12] Y. Ookouchi and Y. Watabiki , “ Effective Superpotentials for SO/Sp with Flavor from Matrix Models ”, Mod. Phys. Lett. A18、1113-1126 (2003) .

[13] H. Ishihara,, “Big bang of the brane universe,”, Phys. Rev. D **66**, 023513 (2002).

[14] Takeo Araki, and Katsushi Ito Akihisa Ohtsuka , “Supersymmetric Gauge Theories on Noncommutative Superspace”, Physics Letters B573 (2003) 209-216 .

[15] Takeo Araki, Katsushi Ito and Akihisa Ohtsuka , “N=2 Supersymmetric U(1) Gauge Theories in Noncommutative Harmonic Superspace”, Journal of High Energy Physics, 0401 (2004) 046 .

[16] Gary W. Gibbons, Daisuke Ida and Tetsuya Shiromizu, “UNIQUENESS OF (DILATONIC) CHARGED BLACK HOLES AND BLACK P-BRANES IN HIGHER DIMENSIONS”, Phys.Rev.D66 044010 (2002).

[17] Masaru Siino, “Topological derivation of black hole entropy by analogy with a chain polymer ”, Published in Phys.Rev.D66:104006,2002..

[18] Y. Watabiki, “The bosonic string and superstring models in 26+2 and 10+2 dimensional space-time, and the generalized Chern-Simons action”, JHEP 05 001 0-26 (2003).

[19] K. i. Nakao, N. Kobayashi and H. Ishihara,, "How Does Naked Singularity Look?,", Phys. Rev. D **67**, 084002 (2003).

[20] M. Hiragane, Y. Yasui and H. Ishihara, "Compact Einstein spaces based on quaternionic Kaehler manifolds,", Class. Quant. Grav. **20**, 3933 (2003).

[21] Katsushi Ito and Yasuhiro Sekino , "Penrose Limit and Enhancon Geometry", Physical Review D67 (2003) 126005 .

[22] Takashi Torii and Tetsuya Shiromizu , "COSMOLOGICAL CONSTANT, DILATON FIELD AND FREUND-RUBIN COMPACTIFICATION.", Phys. Lett. B551 161-165,2003.

[23] Tetsuya Shiromizu Kazuya Koyama,and Keitaro Takahashi, "EFFECTIVE THEORY FOR CLOSE LIMIT OF TWO-BRANES", Phys. Rev.D67:104011,2003 .

[24] Tetsuya Shiromizu Takashi Torii,and Tomoko Uesugi, "D BRANE-WORLD COSMOLOGY", Phys. Rev.D67:123517,2003 .

[25] Tetsuya Shiromizu Kazuya Koyama,and Takashi Torii, "COSMOLOGICAL CONSTANT AND GRAVITATIONAL THEORY ON D-BRANE", Physical Review D68:103513,2003.

[26] M. Sami, N. Dadhich and Tetsuya Shiromizu, "STEEP INFLATION FOLLOWED BY BORN-INFELD REHEATING.", Physics Letter B568:118-126,2003 .

[27] Tetsuya Shiromizu Kazuya Koyama, Sumitada Onda and Takashi Torii , "CAN WE LIVE ON A D-BRANE? EFFECTIVE THEORY ON A SELFGRAVITATING D-BRANE", Physical Review D68:063506,2003 .

[28] T. Tsukioka and Y. Watabiki, "Quantization of Bosonic String Model in 26+2-dimensional Spacetime", Int. J. Mod. Phys. A19 1923-1960 (2004).

[29] Takeo Araki and Katsushi Ito, "Singlet Deformation and Non(anti)commutative N=2 Supersymmetric U(1) Gauge Theory", Physics Letters B595 (2004) 513-520 .

[30] Keitaro Takahashi and Tetsuya Shiromizu , "ASYMMETRIC D-BRANEWORLD", Physical Review D70: 103507, 2004 .

[31] Shinya Tomizawa, Yuki Uchida and Tetsuya Shiromizu, "Twist of a stationary black hole or ring in five dimensions", Physical Review D70 064020, 2004 .

[32] Tetsuya Shiromizu Yoshiaki Himemoto,and Keitaro Takahashi , "RANDALL-SUNDRUM TWO D-BRANE MODEL", Physical Review D70:107303, 2004 .

[33] Tetsuya Shiromizu and Kazuya Koyama , "LOW-ENERGY EFFECTIVE THEORY FOR TWO BRANE SYSTEMS: COVARIANT CURVATURE FORMULATION", Phys. Rev. D67:084022,2003 .

[34] Tetsuya Shiromizuand Kazuya Koyama , "SPACETIME DYNAMICS AND BARYOGENESIS IN BRANEWORLD", JCAP 07,011, 2004 .

[35] Tetsuya Shiromizu and Shinya Tomizawa , "SPATIAL INFINITY IN HIGHER DIMENSIONAL SPACETIMES.", Physical Review D69:104012, 2004 .

[36] Tetsuya Shiromizu Daisuke Ida ,and Shinya Tomizawa , "KINEMATICAL BOUND IN ASYMPTOTICALLY TRANSLATIONALLY INVARIANT SPACE-TIMES", Physical Review D69:027503, 2004.

[37] Tomoko Uesugi, Tetsuya Shiromizu, Takashi Torii and Keitaro Takahashi, "D-braneworld cosmology. II. Higher order corrections", Physical Review D69 043511, 2004.

[38] Sumitada Onda, Tetsuya Shiromizu Kazuya Koyama and Shoko Hayakawa, "LOW ENERGY EFFECTIVE ACTION ON A SELF-GRAVITATING D-BRANE.", Physical Review D69:123503, 2004 .

[39] Tetsuya Shiromizu Keitaro Takahashi, Yoshiaki Himemoto and Shuto Yamamoto, "GRAVITY IN RANDALL-SUNDRUM D-BRANEWORLD MODEL", Physical Review D70: 123524, 2004 .

[40] T. Tsukioka and Y. Watabiki , " Quantization of Neveu-Schwarz-Ramond Superstring Model in 10+2-dimensional Spacetime", Int. J. Mod. Phys. A20、5807-5870 (2005).

[41] H. Ishihara and H. Kozaki, "Classification of cohomogeneity one strings,", Phys. Rev. D **72**, 061701 (2005).

[42] Takeo Araki, Katsushi Ito and Akihisa Ohtsuka , "Non (anti)commutative N=(1,1/2) Supersymmetric U(1) Gauge Theory", Journal of High Energy Physics, 0505 (2005) 074 .

[43] Takeo Araki, Katsushi Ito and Akihisa Ohtsuka , "Deformed Supersymmetry in non (anti)commutative N=2 Supersymmetric U(1) Gauge Theory", Physics Letters B606 (2005) 202.

[44] Hirotaka Yoshino, Tetsuya Shiromizuand Masaru Shibata , "THE CLOSE LIMIT ANALYSIS FOR HEAD-ON COLLISION OF TWO BLACK HOLES IN HIGHER DIMENSIONS: BRILL-LINDQUIST INITIAL DATA", Physical Review D72, 084020:2005 .

[45] Yukinori Iwashita, Hirotaka Yoshino and Tetsuya Shiromizu, "GRAVITATIONAL COLLAPSE DISTURBS THE DS/CFT CORRESPONDENCE? ", Phys. Rev. D72, 084014 (2005).

[46] Tomoko Uesugi, Shunsuke Fujii and Tetsuya Shiromizu, "BARYON NUMBER VIOLATION DUE TO BRANE DYNAMICS.", Physical Review D72, 063508:2005 .

[47] Tetsuya Shiromizu Shinya Tomizawa, Yuki Uchida and Shinji Mukohyama , "KALUZA-KLEIN BUBBLE AND CELESTIAL SPHERE IN INFLATIONARY UNIVERSE", General Relativity and Gravitation 37:1823, 2005 .

[48] Tetsuya Shiromizu Shunsuke Fujii, Claudia de Rham and Hirotaka Yoshino , "HIGH-ENERGY EFFECTIVE THEORY FOR ORBIFOLD BRANES", Physical Review D73, 087301:2006 .

[49] Yukinori Iwashita, Tetsuya Shiromizu Keitaro Takahashi and Shunsuke Fujii , "GRAVITY IS CONTROLLED BY COSMOLOGICAL CONSTANT.", Physical Review D71:083518, 2005 .

[50] Akihito Shirata, Tetsuya Shiromizu Naoki Yoshida and Yasushi Suto , "CONSTRAINING DEVIATIONS FROM NEWTON'S LAW OF GRAVITY ON COSMOLOGICAL SCALES: CONFRONTATION TO POWER SPECTRUM OF SDSS GALAXIES", Physical Review D71:064030, 2005 .

[51] David Kastor, Tetsuya Shiromizu Shinya Tomizawa and Jennie Traschen , "POSITIVITY BOUNDS FOR THE Y-ADM MASS DENSITY", Physical Review D71:104015, 2005 .

[52] Claudia de Rham, Shunsuke Fujii Tetsuya Shiromizu and Hirotaka Yoshino , "HIGH-ENERGY EFFECTIVE THEORY FOR A BULK BRANE", Physical Review D72, 123522 (2005).

[53] Katsushi Ito and Hiroaki Nakajima , “Central Charges in Non(anti)commutative N=2 Supersymmetric U(N) Gauge Theory”, Phyics Letters B633 (2006) 776 .

[54] Katsushi Ito and Hiroaki Nakajima , “Non(anti)commutative N=2 Supersymmetric U(N) Gauge Theory and Deformed Instanton Equations”, Physics Letters B629 (2005) 93 .

[55] Hirotaka Yoshino, Tetsuya Shiromizu Naoki Yoshida and Masaru Shibata , “Colse-slow analysis for head-n collision of two black holes in higher dimensions:Bowen-York initial data”, Physical Review D74:124022, 2006 .

[56] Tetsuya Shiromizu Hirotaka Yoshino, “Positive energy theorem implies constraints on static steller models”, Progress of Theoretical Physics, Vol.116:1159, 2006 .

[57] Tsutom Kobayashi, Tetsuya Shiromizu Nathalie Deruell , “Low energy effective gravitational equations on a Gauss-Bonnet brane”, Physical Review D74:104031, 2006 .

[58] Yukinori Iwashita,Tsutom Kobayashi Tetsuya ShiromizuHirotaka Yoshino , “Holographic entanglement entropy of de Sitter braneworld”, Physical Review D74:064027, 2006 .

[59] Tetsuya ShiromizuSumio Yamada,Hirotaka Yoshino , “On static existence of a star outside a black hole”, Journal of Mathematical Physics 47:112502, 2006 .

[60] Tetsuya ShiromizuShunsuke Fujii,Claudia de Rham,Hirotaka Yoshino , “High energy effective theory for orbifold brane”, Physical Review D73:087301, 2006 .

[61] Hideki IshiharaMasashi Kimura,Ken Matsuno,Shinya Tomizawa , “Black Holes on Eguchi-Hanson space in five dimensional Einstein-Maxwell theory.”, Physical Review D74:047501, 2006.

[62] Hideki IshiharaMasashi Kimura,Shinya Tomizawa , “Topology change of coalescing black holes on Eguchi-Hanson space”, Class. Quant. Grav. 23, L89 2006 .

[63] Hideki IshiharaMasashi Kimura,Ken Matsuno,Shinya Tomizawa , “Kaluza-Klein multi-black holes in five dimensional Einstein-Maxwell theory”, Class. Quant. Grav. 23, 6919, 2006.

[64] Nobuyuki Sakai,Ken-ichi Nakao,Hideki IshiharaMakoto Kobayashi , “The universe out of a monopole in the laboratory?”, Physical Review D74:024026, 2006.

[65] Hideki Ishihara,Ken Matsuno , “Kaluza-Klein black holes with squashed horizons”, Progress of Theoretical Physics, Vol.116:417,2006 .

[66] Shinya Tomizawa and Masaru Siino, “Limit structure of future null infinity tangent: Topology of the event horizon and gravitational wave tail”, Class. Quant. Grav. 23 683-700, 2006.

[67] A.CARLINI, A.HOSOYA, T.KOIKE and Y.OKUDAIRA , “Time-optimal Quantum Evolution”, Phys. Rev. Lett 96, 060503 ~ 06507 (2006).

国内会議招待講演

[1] 石原秀樹, 「Essence of Hawking radiation」, 量子凝縮系研究の新展開, 2004 年 1 月 9 日.

[2] 石原秀樹, 「ブレイン宇宙における重力波の伝播」, 第 4 回 TAMA シンポジウム, 2005 年 2 月 19 日.

[3] 石原秀樹, 「Geometrical Approach to Topological Defects」, International Workshop on Photosynthetic Antennae and Coherent Phenomena, 2005 年 12 月 6 日.

計画班: D24

研究課題名: 弱電磁理論における非摂動効果とバリオン数生成

研究代表者: 青山 秀明 京都大学大学院・教授
松田 哲 京都大学大学院・名誉教授
山本 克治 京都大学大学院・教授

重要な成果

N 重超対称性において、これまで知られていなかった多次元へ拡張した場合の代数構造が判明し、具体的なモデルの構築が可能となった。余剰次元空間については、宇宙定数が余剰次元のカシミアエネルギーに起因するとして、ＷＭＡＰ観測の宇宙定数の値から余剰次元空間の大きさをサブミリメーター程度と評価を得た。超対称弱電磁模型ではポテンシャル平坦面上での多元スカラー場運動により粒子数非対称が有効に生成されることを見出し、これによるレプトン数生成とニュートリノ質量の関係を明らかにした。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:
虚時間経路積分法の非摂動効果の研究でバレー法の新しい定義を提唱し、 1 次元非調和振動子の解析から N 重超対称性を見出した。レプトン数については、ヒッグストリプレット場を含む超対称弱電磁模型で、複数スカラー場の多元運動による有効な生成機構を示した。

平成 14 年度:
N 重超対称性については、Type-A モデルだけでなく、より広範囲のモデルを探索し、一般論を目指す研究を行った。レプトン数については、超対称標準模型、超対称シーソー模型でも多元スカラー場運動による生成機構をニュートリノ質量と関連づけて調べた。

平成 15 年度:
N 重超対称性については、代数的関係を検証する新たな方法を発見し、多次元への拡張など多くの可能性を調べた。余剰次元については、宇宙定数が余剰次元のカシミアエネルギーに起因するとして、ＷＭＡＰ観測の宇宙定数の値から余剰次元空間の大きさをサブミリメーター程度と評価した。超対称ヒッグストリプレット模型では、レプトン数生成をさらに詳細に検討し、ニュートリノの質量・混合やレプトンフレーバー変換過程との密接な関係も調べた。

平成 16 年度:
N 重超対称性については、Type-B を越える拡張を検討し、新しいモデルをほぼ確定した。また、場の理論への適用も検討した。余剰次元空間については、 2 次元トーラスを考え、そのカシミアエネルギーをモジュライパラメーターの関数として求めた。超対称シーソー模型では、レプトン数生成を詳細に検討し、それに関わるパラメータへの制限を求めた。

平成 17 年度:
N 重超対称性では、多次元への拡張、特に N=2 の 3 次元拡張を詳細に調べ、具体的なモデルの構成を検討した。空間的余剰次元については、それが予言するミニブラックホール生成に関与する一般化された不確定性関係の研究を進めた。超対称弱電磁模型では、種々の新奇粒子を含む拡張を考案し、レプトン数生成をニュートリノの物理と関連づけて検討した。

平成 18 年度:
N 重超対称性については、これまでの成果を受けて、3 次元 2 重超対称性代数モデルの構築がほぼ完成した。空間的余剰次元については、 2 次元トーラス余剰次元空間を考え、そのカシミアエネルギーをモジュライパラメーターの関数として求めた。さらに、空間的余剰次元が予言するミニブラックホール生成に関与する一般化された不確定性関係の研究を進め、ミニブラックホール生成断面積の精度を上げた評価を試みている。超対称弱電磁模型の拡張では、バリオン数やレプトン数の生成とともに、インフレーションの実現やダークマターの生成について調べた。

査読付国際誌への掲載

[1] H. Aoyama, M. Sato, T. Tanaka, and M. Yamamoto, "N-fold supersymmetry for a periodic potential", Phys. Lett. B **498** (2001) 117 – 122.

[2] H. Aoyama, M. Sato, and T. Tanaka, "General forms of a N-fold supersymmetric family", Phys. Lett. B **503** (2001) 423 – 429.

[3] H. Aoyama, N. Nakayama, M. Sato and T. Tanaka, "sl(2) construction of type A $\mathcal{N}$-fold supersymmetry", Phys. Lett. B **519** (2001) 260 – 268.

[4] H. Aoyama, N. Nakayama, M. Sato and T. Tanaka, "Classification of type A $\mathcal{N}$-fold supersymmetry", Phys. Lett. B **521** (2001) 400 – 408.

[5] H. Aoyama, M. Sato and T. Tanaka, "$\mathcal{N}$-fold supersymmetry in quantum mechanics: general formalism", Nucl. Phys. B **619** (2001) 105 – 127.

[6] Satoshi Matsuda and Shigenori Seki, "Gravitational Stability and Extra Timelike Dimensions", Phys. Rev. D **63**, 065014 1-5 (2001); Erratum: ibid. **63**, 129901-1(E) (2001).

[7] Satoshi Matsuda and Shigenori Seki, "Gravitational Stability and Screening Effect from D Extra Timelike Dimensions", Nucl. Phys. B **500** (2001) 119 – 136.

[8] Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Affleck-Dine leptogenesis with triplet Higgs", Phys. Lett. B **524** (2002) 332 – 341.

[9] Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Flat manifold leptogenesis in the supersymmetric standard model", Phys. Rev. D **66**, 035006 1-9 (2002).

[10] Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Leptogenesis via multiscalar coherent evolution with supersymmetric neutrino see-saw", Phys. Rev. D **67**, 095005 1-4 (2003).

[11] Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Lepton flavor violation with supersymmetric Higgs triplets in TeV region for neutrino masses and leptogenesis", Phys. Rev. D **69**, 035004 1-7 (2004).

[12] Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Leptogenesis with supersymmetric Higgs triplets in the TeV region", Int. J. Mod. Phys. A **21**, 1291 – 1305 (2006).

[13] Satoshi Matsuda and Shigenori Seki, "Cosmological Constant Probing Shape Moduli through Large Extra Dimensions", Int. J. Mod. Phys. A **21**, 3095 – 3110 (2006).

[14] Katsuichi Higuchi, Masato Senami and Katsuji Yamamoto, "Universality of strength for Yukawa couplings with extra down-type quark singlets", Phys. Lett. B **638** 492 – 496 (2006).

国際会議招待講演

[1] Satoshi Matsuda, "Gravitational Stability and Screening Effect from Extra Timelike Dimensions", 2001 QCD and High Energy Hadronic Interactions, Les Arcs, France, 2001 年 3 月 17-24 日.

[2] Satoshi Matsuda, "Large Extra Dimensions with Shape Moduli and Small Positive Cosmological Constant", Sapporo Winter School in Niseko 2005, Hokkaido, 2005 年 1 月 7-12 日.

学会発表

[1] 中山法子, 青山秀明, 佐藤昌利, 田中敏晶, 「Sl(2) construction of Type A N-fold supersymmetry」, 日本物理学会 秋季大会, 2001 年 9 月 25 日.

[2] 瀬波 大土, 山本 克治, 「Affleck-Dine leptogenesis with triplet Higgs」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月 24 日.

[3] 瀬波 大土, 山本 克治, 「Leptogenesis on LHuHd flat manifold」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[4] 瀬波 大土, 山本 克治, 「Flat manifold leptogenesis with right-handed sneutrino」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 2002 年 9 月 13 日.

[5] 瀬波 大土, 山本 克治, 「Lepton flavor violation in supersymmetric triplet Higgs for leptogenesis」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[6] 松田　哲, 「Cosmological Constant Probing Shape Moduli through Large Extra Dimensions」, 日本物理学会秋季大会, 2003 年 9 月 10 日.

[7] 瀬波 大土, 山本 克治, 「Lepton flavor violation in supersymmetric seesaw model for leptogenesis」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 2003 年 9 月 12 日.

[8] 松田　哲, 「Cosmological Constant Probing Shape Moduli through Large Extra Dimensions」, 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2004 年 3 月 27 日.

[9] 山田吉英, 青山秀明, 「3-dim 2-fold Supersymmetric Quantum Mechanics」, 京都大学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 10 日.

[10] 山田吉英, 青山秀明, 「2 重超対称量子力学の 3 次元拡張」, 日本物理学会 秋季大会, 2005 年 9 月 14 日.

[11] 山田吉英, 青山秀明, 「2 重超対称量子力学による 3 次元等スペクトル系の構成」, 日本物理学会 第 61 回年次大会, 2006 年 3 月 27 日.

計画班: D25

研究課題名: スカラー場のダイナミックスとそれを背景とするバリオン数生成

研究代表者: 豊田 文彦 近畿大学・教授
船久保 公一 佐賀大学・教授

重要な成果

宇宙のバリオン非対称を電弱相転移のスカラー場（Higgs 場）のダイナミックスから導く可能性について議論した。特に、一次相転移の Bubble Wall の表面における過渡的 CP の破れが重要であるとの指摘を行った。現実の模型に関しては MSSM（最小超対称模型）ではいくつかの困難があることを示した。これに対し、NMSSM ではμ -問題の解決と共に、過渡的 CP の破れが起こる可能性を指摘した。

年度毎の進展と成果

平成 13 年度:

スカラー場において、一般に時間に依存する背景場があるとき、量子揺らぎが成長することがある。ここでは背景場の振動の原点付近を近似し、かつスカラー場が荷電を持つ場合の荷電生成の様子を数値シミュレーションで示した。

平成 14 年度:

多成分スカラー場として SUSY 模型（MSSM）に基づいた ヒッグズ場 を考えその有効ポテンシャルを計算する。我々は以前 s-quark coupling に CP の破れの無い場合の分析を行ったが、今回 CP の破れが大きい場合を調べてみた。その結果、極めて狭い範囲ではあるが電弱バリオン生成と実験に矛盾しないパラメーター領域の存在することが分かった。

平成 15 年度:

電弱相転移でバリオン生成を説明するには最小超対称模型（MSSM）でもヒッグズの質量と結合定数について制限がつき現在の実験値はその制限を越える可能性がある。そこで我々は MSSM を拡張する方法である Next-to-MSSM (NMSSM) を考え,SU(2) 一重項のスカラー場を導入する。我々は s-quark coupling に CP の破れのない場合にヒッグズの有効ポテンシャルを計算し、singlet scalar に伴う新しいパラメーターの領域を決定した。

平成 16 年度:

NMSSM 模型の次の段階として s-quark coupling に CP の破れのある場合のヒッグズの有効ポテンシャルを計算し、Higgs scalar と pseudo-scalar の mass spectrum を求め実験と矛盾しないパラメーター領域を定めた。更に、1-loop の寄与を高温展開で評価し、1 次転移の起こるパラメーター領域を調べた。

平成 17 年度:

Singlet scalar の導入によりにより、小さい Higgs mass でも Z boson との coupling が小さく現在の実験では見えない可能性がある。一方、このパラメーター領域で Higgs の有効ポテンシャルから電弱相転移を調べると単純な一次相転移以外に 2 段階転移などが現れ、かなり複雑になる。

平成 18 年度:

NMSSM における新しい singlet scalar の導入はバリオン数を破るゲージ場の配位（sphaleron）の存在に大きな影響を与えると考えられる。我々は sphaleron の存在条件をチェックし、sphaleron の数値解を求めた。次に、sphaleron 遷移を含む電弱バリオン生成の確率を計算し、過渡的 CP の破れが起こり易くなるかどうかについても調べてゆく予定である。

査読付国際誌への掲載

[1] Koichi Funakubo,Akira Kakuto,Shoichiro Otsuki and Fumihiko Toyoda, “Charge Generation in an Oscillating Background”, Progress of Theoretical Physics 105-5 (2001) 773 – 788.

[2] Koichi Funakubo,Shuichiro Tao and Fumihiko Toyoda, “CP Violation im the Higgs Sector ana a Phase Transition in the MSSM”, Progress of Theoretical Physics 109-3 (2003) 415 – 432.

[3] Koichi Funakubo,and Shuichiro Tao , “The Higgs Sector in the Next-to-MSSM”, Progress of Theoretical Physics 113-2 (2005) 821 – 842.

[4] Koichi Funakubo,Shuichiro Tao and Fumihiko Toyoda, “Phase Transitions in the NMSSM”, Progress of Theoretical Physics 114-2 (2005) 369 – 389.

[5] Koichi Funakubo,Akira Kakuto,Shuichiro Tao and Fumihiko Toyoda, “Sphalerons in the NMSSM”, Progress of Theoretical Physics 114-5 (2005) 1069 – 1082.

国内会議招待講演

[1] 船久保公一, 「Elegtroweak and Inflationary Baryogenesis」, 東京大学素粒子論セミナー, 2001 年 5 月 7 日.

[2] 船久保公一, 「Preheating and Baryogenesis」, 富山大学素粒子論セミナー, 2001 年 5 月 16 日.

[3] 船久保公一, 「Preheating and Charge Generation」, 名古屋大学素粒子論セミナー, 2001 年 6 月 26 日.

[4] 船久保公一, 「Parametric Resonance and Charge Generation」, 「新世紀の素粒子像」研究会 (京都大学基礎物理学研究所), 2001 年 7 月 10 日.

[5] 船久保公一, 「Electroweak Baryogenesis」, 「熱場の量子論とその応用」研究会 (京都大学基礎物理学研究所), 2001 年 8 月 8 日.

[6] 船久保公一, 「Sphaleron Process and L-to-B Conversion」, 「フレーバー混合と CP の破れ、物質の起源」(京都大学基礎物理学研究所), 2002 年 5 月 9 日.

[7] 船久保公一, 「Electroweak Baryogenesis」, 第 8 回「高エネルギー物理学と宇宙像」セミナー (KEK 国際交流センター), 2004 年 6 月 4 日.

[8] 船久保公一, 「Electroweak Phase transition in the Supersymmetric Models」, 「Electroweak Baryogenesis」, 大阪大学素粒子論セミナー, 2004 年 10 月 7 日.

[9] 船久保公一, 「Higgs Mass and Electroweak Phase Transition」, 広島ヒッグズ研究会 2005, 2005 年 3 月 4 日.

[10] 船久保公一, 「Status of Electroweak Baryogenesis」, 「CP の破れと物質生成」研究会 (京都大学基礎物理学研究所), 2005 年 1 月 12-15 日.

[11] 船久保公一, 「Phase Transition im the NMSSM」, 東京大学宇宙線研セミナー, 2005 年 3 月 10 日.

[12] 船久保公一, 「Phase Transition in the NMSSM」, 名古屋大学物理学教室談話会, 2005 年 6 月 28 日.

[13] 船久保公一, 「Phase Transitions in the Supersymmetric Standard Models」, 東京工業大学宇宙物理学理論コロキウム (東京工業大学理工学研究科), 2007 年 2 月 16 日.

学会発表

[1] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮,「予加熱と電弱バリオン生成」, 日本物理学会 第 56 回年次大会, 2001 年 3 月 28 日.

[2] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「欠陥形成による電弱バリオン生成」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 2002 年 3 月 24 日.

[3] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「宇宙初期の電弱相転移の次数について」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 2002 年 9 月 16 日.

[4] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「予加熱における欠陥形成と CP の破れ」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 2003 年 3 月 31 日.

[5] 豊田文彦船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「Electroweak Baryogenesis in the Next-to-MSSM」, 日本物理学会 2004 年春季大会, 2004 年 3 月 30 日.

[6] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「Sphalerons in the Next-to-MSSM」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[7] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「NMSSM での電弱相転移の次数 CP の破れ」, 日本物理学会 第 60 回年次大会, 2005 年 3 月 24 日.

[8] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「Sphaleron solution and energy in the NMSSM」, 日本物理学会 2005 年秋期大会, 2005 年 9 月 14 日.

[9] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「電弱相転移の相構造について」, 日本物理学会 2007 年春期大会, 2007 年 3 月 25 日.

[10] 豊田文彦、船久保公一、角藤亮、田尾周一郎,「NMSSM における有限温度スファラロン」, 日本物理学会 2007 年春期大会, 2007 年 3 月 27 日.

ホームページの公開

[1] http://dirac.phys.saga-u.ac.jp/

9　研究分担者の受賞

計画班 A2 超弦理論の時空構造と対称性

[1] 風間洋一，２００５年度素粒子メダル (2006 年 3 月 29 日) , 受賞論文：Y. Kazama and H. Suzuki, New N=2 Supserconformal Field Theories and Superstring Compactification, Nucl.Phys. B321 (1989) 232.

計画班 A3 超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造

[2] 川合光, 素粒子論グループより非摂動論的 2 次元量子重力の研究で第 6 回素粒子メダルを受賞 (2006 年 3 月 29 日) .

計画班 C15 大規模数値シミュレーションによる格子量子色力学の研究

[3] 青木慎也,「格子ゲージ理論の手法による素粒子物理学の研究」で第 1 回日本学術振興会賞を受賞 (2005 年 3 月 22 日) .

計画班 C16 ゲージ場の理論の非摂動論的理解への解析的アプローチ

[4] 鈴木　博, 日本物理学会より Overlap　Dirac　演算子をもちいた格子ゲージ理論におけるカイラルアノマリーの研究で　第 9 回論文賞を受賞 (2004 年 3 月 29 日) .

計画班 C17 **CP** の破れと標準模型を超える物理

[5] 小林誠, 政府および文部科学省より小林・益川理論の提唱で文化功労者に選ばれる。(2001 年 11 月 3 日) .

計画班 D21 電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用

[6] 諸井健夫, 日本物理学会より「Gravitino produciotn in the inflationary universe and the effects of big-bang nucleosynthesis」の研究で日本物理学会論文賞を受賞 (2005 年 3 月 26 日) .

計画班 D23 超弦理論の宇宙論による検証

[7] 白水徹也, ブレーン宇宙論の研究で、平成 17 年度　西宮湯川記念賞平成 18 年度　文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞.

計画班 D24 弱電磁理論における非摂動効果とバリオン数生成

[8] 松田　哲, 日本物理学会素粒子論委員会より有限エネルギー和則の発見の研究で素粒子メダル賞を受賞 (2001 年 3 月 29 日) .

10　報道など

計画班 A2 超弦理論の時空構造と対称性

[1] 「月はどっちに出ている？量子の不思議な世界」(米谷民明 他) , 東京ＭＸテレビ「ガリレオチャンネル」, 2005 年 2 月 13,20 日.

[2] 「超ひも理論と膜宇宙論」(米谷民明 他), 科学雑誌「ニュートン」, 2004 年 12 月 7 日.

計画班 A3 超弦理論による素粒子の統一理論と時空構造

[3] 二宮正夫, 岡山光量子科学研究所開所, 朝日新聞 (夕刊) など各紙, 2004 年 4 月.

[4] 二宮正夫, C.N.Yang との対談, 朝日新聞 (京都版) など各紙, 2005 年 10 月.

[5] 川合光,「紙上特別講義 素粒子」, 朝日新聞, 2006 年 4 月 21 日.

計画班 D21 電弱対称性の破れのダイナミクスと、その宇宙論への応用

[6] 「２００４年ノーベル物理学賞ー　強い力が弱くなるとき　ー、2004 年度ノーベル物理学，化学，医学・生理学賞解説講演会 (岡山大学), 2004 年 12 月 3 日.

11　総括班評価者による評価の状況

本領域が研究対象とする研究は超弦と場の理論の動力学的な性質（ダイナミクス）であり、これは超弦理論に基づく素粒子の統一理論の構築、場の理論の基礎と純粋数学から物質科学に至る幅広い応用、電弱相互作用、QCD からハドロン物理、格子ゲージ理論に至る標準模型の基礎的研究・現象論的研究、更には、種々の素粒子模型やＤブレーンの宇宙論への応用等の幅広い範囲からの有機的な研究である。

これらの研究を組織化するに際し、便宜上４つの研究項目に分け、計 25 班に班構成を行なった。これらの班は有機的に密接に関係を保ちながら研究を進めてきた。（項目 2 の (4) を参照）。

本領域によって多くの重要な成果が得られてきた（項目 2 の (3) を参照）。

また、総括班は領域代表者を中心に、各項目、各班の研究の進展状況を注意深く吟味し、必要に応じ各計画班の開催する国内・国際研究集会への助言と財政支援を行なってきた。また、海外から各項目のトップリーダー達を比較的長い期間招聘し、国内各大学研究機関において講演を行なって頂いた。

領域構成員が海外国際研究集会に招聘講演された際は領域代表者を中心に内容を吟味し、財政支援を行なった。

更に、総括班は総括的な国際研究集会を開催し各項目からの多数の参加者を得ると共に、適宜各項目や各班の開催する研究会を支援した。

若手研究者の研究者への道は年々厳しくなってきているが、本領域では、総括班やかなりの数の班においてポストドクトラルフェローとして、有為な若手研究者を採用し、将来のリーダーの育成確保に資してきた。

以上のように、本領域の研究運営は非常に順調に進んできたと自己評価する。

12　当該学問分野及び関連学問分野への貢献度

本領域研究の研究対象は、素粒子物理学における 4 つの基本的な力と全ての素粒子を統一的に記述する唯一の候補である超弦理論の構築と、場の理論の動力学的な性質 — ダイナミクス — の解明である。前者の超弦理論の構築の研究においては、いくつかの班の研究代表者と分担者によって構成的な定式化としてタイプ IIB 行列理論が提唱され、国際的に多大の反響を呼び、今日においてもそのダイナミクス、さらには何故に我々の時空が 4 次元であるか？ クォークの世代数が 3 である理由は何か？ 等の根源的な問題にまで迫る研究が盛んに行なわれている。さらに初期宇宙論への応用として、ブレーン宇宙模型や、超初期のプレビッグバン模型がこの構成的超弦理論の見地から提唱・研究が行なわれた。さらには超弦理論に端を発した非可換幾何学・ゲージ理論は、その数理物理学的発展とともに量子ホール効果の研究に適用され、特に二相量子ホール系においては特異な現象の予言を具体的成果として得た。

場の理論の現代的な応用の研究においては、場の強結合領域と超弦理論の弱結合領域の双対性、あるいはそれらの逆の結合領域間の双対性を用いて、これまで研究が出来得なかった強結合領域の研究が長足の進歩を遂げた。

また、格子ゲージ理論による場の理論の定式化の進展の結果、大規模数値計算を用いた場の理論のダイナミクスの解析が実行可能となり、素粒子標準模型のさまざまな物理量の精密な導出など、国際的なリーダーシップを担っている。幾つかの代表的な成果として、(1) 軽い 3 個の動的クォークの効果を採り入れた格子 QCD の研究、(2) 新しいカイラル摂動論のベクトル中間子への拡張、(3) 重いクォークの物理の研究、(4) 格子 QCD による核力の研究、等が挙げられる。また、標準理論において理論的に存在が可能な磁気単極子（モノポール）に関し、超対称性を有するモデルにおいて電気二重極能率を分析し、その生成機構を明らかにした。

ここに記したように、本領域研究においては超弦理論と現代的な場の理論が有機的に連係し、多くの先進的な成果をあげることができ、当該分野とその関連分野へ重要な貢献を果たす事が出来た。