

1 素粒子論研究室 (藤川・江口・柳田・松尾)

素粒子論研究室では、物質の基本的構成要素とその間に働く相互作用の解明を目指して研究を続けている。基礎的なテーマである超弦理論や超対称性を持つ場の理論の様々な理論的な可能性の追求と同時に、高エネルギー物理や宇宙線物理に関する実験的な検証あるいは宇宙物理的な応用が研究されている。さらには、連続及び格子上の場の理論の定式化の改良や応用も重要なテーマになっている。

1.1 弦理論

江口はストリング理論の年会 strings2003、7/6-7/11 (京都国際会議場) の組織委員長を努めた。strings2003 の参加者は外国人 250 名、日本人 150 名ほどであった。会議の最終日に Witten, Gross, 戸塚による市民講演会を行った。

超対称ゲージ理論、位相的弦理論と超弦理論

江口は菅野 (名古屋大・多元数理) と共に、一種のゲージ・重力対応である geometrical transition を調べ、 S^3 上のチャーン・サイモンズ理論のリンク不変量の組み合わせをすべての表現について足しあげると、種々の非コンパクトなカラビ・ヤウ多様体上の位相的弦理論の振幅を厳密に再現することを示した [2]。この表式は固定点定理を用いて Nekrasov が導いた公式で、 \hbar や β をカラビ・ヤウ多様体のパラメータと固定したものとは完全に一致する。また、ヤング図を足しあげると計算を共形場の理論で知られるバーテックス作用素を用いて書き換えると、計算が著しく簡単化され、バーテックス作用素の積の真空期待値に帰着することを示した [3]。

江口と酒井は昨年度に引き続き E 弦理論の研究を行った。超弦理論には D ブレーン以外にもソリトンが現れることが知られている。そのひとつである E 弦は、ヘテロティック弦の約半分の自由度を持ち、独自に 6 次元の非臨界弦理論 (E 弦理論) を構成する。E 弦理論は 4 次元にコンパクト化すると $\mathcal{N} = 2$ の超対称性を持つが、この種の理論の低エネルギー有効作用は、Seiberg-Witten 曲線と呼ばれる代数曲線によって完全に記述できる。江口と酒井は E 弦理論のもっとも一般的な 4 次元コンパクト化理論について、Seiberg-Witten 曲線を求めた。さらに江口と酒井はこの曲線の性質を詳しく調べ、E 弦理論の物理的モジュライパラメータの幾何学的意味づけを明らかにした。またパラメータの特殊値をとることで、6 次元 E 弦理論から 5 次元、4 次元の全ての $SU(2)$ Seiberg-Witten 理論が再現できることを具体的に示した [4, 47]。酒井はこれらの結果を元に、E 弦の発見からの経緯を含めて博士論文をまとめた [57]。

江口と菅原は Argyres-Douglas タイプの 4 次元 $\mathcal{N} = 2$ 超共形場理論の $\mathcal{N} = 1$ への拡張を論じた [5]。近

年盛んに研究された一般化された小西アノマリー方程式の手法に基づく解析により、“ $\mathcal{N} = 1$ Argyres-Douglas points” は、孤立特異点を持つ $\mathcal{N} = 2$ 曲線 (Seiberg-Witten 曲線) と $\mathcal{N} = 1$ 曲線 (行列模型曲線) の双有理同値対として特徴づけられることを示した。更に $\mathcal{N} = 1$ AD points 近傍での物理的観測量とそのスケール則や相構造について解析し、超弦理論との対応についても議論した。

4 次元 $\mathcal{N} = 2$ ゲージ理論は、IIA 型超弦理論をトーリック カラビ・ヤウ多様体にコンパクト化することで実現できる。この実現では、ゲージ理論の有効作用に関して摂動補正のみならず、全次数にわたるインスタント補正項までもが弦理論の側から再現できる。具体的には弦理論側の世界面インスタントのある種の足し上げが、ゲージ理論側の各インスタント補正項に対応することが知られている。酒井は京大数研の小西と共同で、ゲージ群が $SU(N)$ の場合について、正確な対応則を調べた。その結果として、ゲージ理論側のインスタント項は、カラビ・ヤウ上の世界面インスタント数 (Gopakumar-Vafa 不変量) の漸近形に多重ラプラス変換を施すことによって得られることを示した。またゲージ理論に重力光子背景場を取り入れた場合についても併せて考察し、重力光子補正項と高い種数の世界面インスタント数との間に全く同様の対応則が成り立つことを確かめた [33]。

昨年、Dijkgraaf と Vafa は $\mathcal{N} = 1$ 超対称ゲージ理論の超ポテンシャルの非摂動補正を対応する行列模型の摂動補正として計算する方法を提唱した。立川はその提唱から小西アノマリー関係式を導き、彼らの提唱の整合性を確かめた [36]。その後、その提唱は場の理論的に証明されたが、立川はまたそれを用いて、Intriligator-Leigh-Seiberg の線形性と呼ばれる予想が導出できることを示した [37]。

昨年来、Nekrasov は $\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論のプレポテンシャルの非摂動補正をインスタント計算で全て求める方法を開発した。立川は、この方法の 5 次元理論の S^1 コンパクト化への拡張の際に、5 次元の非可換チャーン・サイモンズ項がどのように影響するかをしらべ、位相的弦理論からの予言と完璧に一致することを示した [38]。また、立川はこの結果を Seiberg-Witten 理論、Nekrasov の計算のレビューともに修士論文にまとめた [62]。

超対称ゲージ理論の F-term の有効作用は、小西アノマリーによって大部分が決定されるが、中山は小西アノマリーからは決定できない「積分定数」の簡便な決定法を提案し、カイラルゲージ理論などへの応用を議論した [29]。

信山は修士論文において、局所トーリック カラビ・ヤウ多様体上の位相的弦理論の Gopakumar-Vafa duality を用いた解析について最近の発展をまとめた [60]。

桜井は修士論文において、位相的弦理論に関連の深いループ群・完全可積分系 (Hitchin 系) の近年における基礎的な発展をまとめた。[61]

弦の場の理論

弦の場の理論は弦理論の off-shell の構造を規定する定式化の一つである。これまでタキオン凝縮のプロセスなどを通じてブレーンの生成消滅の記述がなされてきたが、弦の場の理論はブレーンの張力の計算などで顕著な成功を収めてきた。Bars、岸本、松尾は開弦の場の理論のスター積を、非可換幾何学で典型的に現れる Moyal 積で書き換え、それと同時に弦の理論で常に問題になる無限自由度に伴う発散の問題を、矛盾の無い正則化を行うことにより解決した [23]。またタキオン真空をこの定式化の立場で計算し、タキオン真空を中点の寄与を摂動として取り扱うことにより解析的な取り扱いを行った [22]。岸本、松尾、渡辺はブレーンを記述する境界状態が閉弦の場の理論のスター積について非常に簡単な非線形方程式を証明した。この方程式 (べき等方程式) はこれまで知られている平坦空間の全ての境界状態とその無限小変形により満たされることを、演算形式 [24] および経路積分法 [25] により具体的に証明した。また最も一般的な境界状態であるカーディ状態がこの枠でどのように取り扱われるべきかを議論した [26]。

大森は、component field による展開を用いて modified cubic superstring field theory の性質を詳しく調べた [31]。また、この内容を含め、これまでに行ってきた開いた超弦の場の理論におけるタキオン凝縮に関する研究成果を博士論文としてまとめた [56]。

曲がった背景上の弦理論とDブレーン

江口と菅原は、 $\mathcal{N} = 2$ リュービル理論における D-ブレーンについて境界共形場理論による系統的な研究を行った [6]。スペクトラル・フローによって拡張された $\mathcal{N} = 2$ superconformal character を基本的なコンフォーマル・ブロックとし、“modular bootstrap” と呼ばれる手法を用いてカーディ状態の候補を与え、開弦の 1 ループ振幅等の解析を行った。特に bosonic リュービル理論における FZZT-ブレーン (extended brane) と ZZ-ブレーン (localized brane) に対応する厳密な境界状態の構成に初めて成功した。引き続き江口、菅原は、 $\mathcal{N} = 2$ リュービル理論の T-dual (mirror) として知られる fermionic 2 次元ブラックホール模型の 1-ループ分配関数の詳細な解析を行い、character level でのこれらの理論の明白な対応を与えると同時に、上で述べた extended character が基本的なコンフォーマル・ブロックとして妥当であることを示した [7]。更に elliptic genus と呼ばれる超対称指数をこうした非コンパクト模型に対して計算し、それがヤコビ形式になり得ない非自明なモジュラー変換性を示すことを指摘した。

中山は 2 次元非臨界弦におけるタドポール相殺の条件と性質を厳密なクロスキャップ状態、境界状態を利用して議論した [28]。また、修士論文 [59] において非臨界弦・リュービル場の理論のここ 10 年来の発展をレビューした。

PP-wave は AdS/CFT 対応で用いられる AdS 空

間に対してある極限操作を行うことによって得られる時空である。井手口と今村は、この時空を非可換なアイソメトリーに対応する複数の方向についてコンパクト化し、その上の弦のスペクトルを決定した。 [16]

今村はタイプ 0 弦理論における NS5-brane 上に存在する局在化した閉弦タキオンのモードに注目し、それを T-双対性によって時空の変形を表す幾何学的なモードとして解釈しなおすことによって、その凝縮が Witten の泡として知られる時空の欠損を生成することを示した。 [17]

川野と山口は、タイプ II 超重力理論の NS セクターが与える運動方程式を満たす解の中で、平行性条件を満たすものを全て分類し、その超対称性の数を調べた [20]。また、川野と山口は、Figueroa-O’Farrill (Edinburgh 大) との共同研究で、ヘテロティック超弦理論の運動方程式を満たす解の中で、平行性条件を満たすものの中で、超対称性をもつものを全て分類し、その超対称性の数を調べた [21]。

山口は、IIB 型弦理論の AdS_5 への超対称性を保つコンパクト化における D ブレーンについて調べた [42]。この弦理論の背景は、4次元の超共形場理論に、またその中の D ブレーンは場の理論の中の defect にそれぞれ対応していると考えられている。この研究では、D ブレーンが超共形対称性を保つための幾何学的条件を D ブレーン上の場の理論の立場から求めた。また同様の解析を M 理論の AdS_4 へのコンパクト化における M5 ブレーンについても行った。

進行波を含む D ブレーンは今まで知られていなかった平坦な時空上の新しいソリトンであると同時に、時間発展する開弦の背景場でもあるため非常に興味深い。そこで高柳はハーバード大の高柳 (匡) 氏とソウル大の疋田氏とともに進行波を含む D ブレーンを閉弦の立場で記述する境界状態を構成した [39]。これは弦理論の共形対称性を壊さないローレンツ共変な形で記述されているため、弦の散乱振幅の計算等さらなる解析が可能である。特にこの境界状態を用いて開弦の 1 ループ振幅が厳密に求められる事がわかった。

弦理論には supertube と呼ばれる安定な円筒状の D ブレーンが存在するが、これは曲がった D ブレーンなので弦理論的な記述は非常に非自明である。しかしこれは T 双対性の下で進行波を含む D ブレーンと等価であるため、境界状態による記述が可能だと期待される。そこで高柳は supertube に対応する境界状態を実際に構成し、その上の開弦のスペクトルを調べた [40]。さらに supertube は Closed Timelike Curve (CTC) を含む Type IIA Gödel 宇宙にも存在し、それは CTC を調べるためのプローブとして有用だが、Gödel 宇宙上の supertube に対しても同様の方法で境界状態が構成できる。そこから開弦のスペクトルを読み取ると、CTC による開弦のタキオン不安定性が弦理論的な補正で解消されていることがわかった。

近年、タキオン凝縮の時間発展、及びそれに伴う D ブレーンの崩壊/生成過程 (“S-ブレーン”) に関する多くの研究がなされており、注目を浴びている。大森は、開弦と閉弦が共存する理論において D ブレー

ンの崩壊現象がどのように記述されるかを考察し、さらに簡単な場の理論的モデルにおいてDブレーンが閉弦に崩壊していく様子を表す解を具体的に構成した [32]。

菅原は、S-ブレーン背景の bosonic 及び超対称開弦の有限温度系における1-ループ分配関数について詳細な解析を行った [35]。主要な結果として、S-ブレーン背景では、初期状態としてどんなに低温であっても、十分時間が経過した後では、effective に Hagedorn 的な高温のふるまいを示し、指数関数的に増加する massive な弦の励起による紫外発散を導くことを示した。また、線形ディラトンによってこうした紫外発散を取り除く可能性についても論じた。

1.2 高エネルギー現象論

素粒子論的宇宙論

超対称標準模型は標準模型を越える理論の最も有力な模型であると考えられている。しかし、宇宙論への適応を考えたとき、宇宙に大量に存在すると考えられるグラヴィティーノの崩壊によって、元素合成がうまく行かなくなるという問題がおこる。特に宇宙のバリオン数の非対称性を説明しようとするとき、この問題はより深刻なものになる。グラヴィティーノの問題から初期宇宙の温度が低いことが要求されるが、低い温度の宇宙でのバリオン数生成は比較的困難である。藤井、伊部、柳田はこの問題を避けるため、グラヴィティーノが安定な場合（即ち、グラヴィティーノが最も軽い超対称粒子の場合）における熱的レプトン生成を解析した。その場合にも、グラヴィティーノの次に軽い超対称粒子の軽元素への影響からグラヴィティーノの次に軽い超対称粒子の種類に強い制限があることを明らかにした。その結果、グラヴィティーノの次に軽い超対称粒子としては、タウ粒子、ニュートリノの超対称対でなければならず、その際グルーオンの超対称対の質量が 1.8 GeV より軽く、現在建設中の加速器 LHC で検証可能であることを示した [10]。

藤井、伊部、柳田は安定な真空を持ち、宇宙に不要な粒子が残らないような gauge-mediation 模型を考察した結果、宇宙のインフレーション後再び小さいインフレーションが起こる模型が可能であることを示した。この2度目のインフレーションによって、グラヴィティーノを暗黒物質として適当な量まで薄めることができる。そのため、グラヴィティーノの量の制限からくる宇宙の温度の上限がゆるめられ、熱的レプトン生成が自然に働くことを示した [9]。

井沢は、超重力理論の枠組みでカイラル超場単一で記述されるミニマルなインフレーション模型において、スペクトル指数を求め、模型中の高次項の効果を明らかにすることによって、WMA P などのデータが有効作用についてもたらず情報を精度よく得る処方考察した [18]。

Affleck–Dine バリオン生成は超対称標準模型の中に存在する flat direction におけるスカラー場の運動を利用したバリオン生成機構である。このスカラー

場は振動開始後もなく Q-ボールと呼ばれる non-topological ソリトンになる。この Q-ボールは、非常に低い温度で崩壊し、宇宙に大量の LSP を放出する。そのため、Q-ボールが存在した宇宙では、通常 (Q-ボールが存在しない場合) では暗黒物質を説明するには量が少なすぎるヒグシーノやヴィーノ LSP の場合に暗黒物質の量を自然に説明することが出来る。藤井、伊部はそのようなヒグシーノやヴィーノ LSP が暗黒物質であった場合の間接検出実験の可能性について議論した。その結果、ヒグシーノやヴィーノ LSP が暗黒物質であった場合には、太陽中心からのニュートリノ線や、銀河ハローからの陽電子線が、通常の LSP 暗黒物質よりも大きく、近い将来の実験で検出が可能であることを明らかにした [8]。藤井は、博士論文において、超対称標準模型における有力な物質-反物質非対称性の生成機構の一つである Affleck–Dine バリオン生成について、これまでの研究をまとめた [53]。

小山、立川は、渡利 (Berkley) と共同で、 $K3 \times T^2$ にコンパクト化したタイプ IIB ストリングにおける D3D7 ハイブリッド・インフレーション模型を4次元 $N=2$ 超重力を用いて解析した。[27] 小山は、超弦理論によるインフレーション模型について修士論文でまとめた。[58]

桜井は正の宇宙項、曲率や非一様な宇宙像のポール展開を報告した近年の WMAP をうけて、相対論的宇宙論の近況を修士論文 [61] でレビューした。さらに桜井は近年のミュオンの実験結果から予想される LFV (Lepton Flavour Violation)、ニュートリノ物理学や超対称ヒッグス現象等に対するカミオカンデや WMAP などからの制限をまとめ、標準模型では説明されない現象の可能性を調べた。

超対称統一模型

超対称標準模型には、3つのゲージ相互作用が存在するが、それらの3つの結合定数が $M_{\text{GUT}} \simeq 10^{16}$ GeV 程度の非常に高いエネルギー・スケールで良く一致することが分かっている。このことは、超対称統一模型の存在を示唆しているが、最もシンプルな $SU(5)$ ゲージ群を用いた模型には、次の問題が存在する。結合定数の統一から、統一理論に存在するカラー電荷を持ったヒッグスは M_{GUT} 程度であるが、標準理論のヒッグスは 100 GeV 程度であるという非常に大きな階層性が存在する。また、カラー電荷をもつヒッグスを介した相互作用による陽子崩壊は、現在の観測よりも短めの陽子寿命を予言してしまう。伊部、渡利はこれらの問題を解決した直積群を用いた統一理論におけるゲージ粒子を介した陽子崩壊の解析をした。その結果、他の統一模型に比べ短めの陽子寿命が予言され、次世代の水層型検出器で検証可能であることを示した [15]。

井沢、渡利、柳田は、高次元の超対称 QCD を考えて、色つきのフェルミオンが余次元方向に分離した、比較的ありふれた状況が実現されていると自然に、PQ対称性が帰結として現れ、結果的にCP問題の解決が内包された4次元のQCDが得られるこ

とを示した。また、その際、超対称性の為に、MSM粒子以外の色つき粒子の存在が一般に超対称性の破れのスケールで予想されることを指摘した [19]。

1.3 場の理論

量子異常と場の理論の諸問題

まず、藤川は鈴木(茨城大)と共同して経路積分の定式化を用いた2次元フェルミ粒子の場の理論のボソンによる記述であるボソン化の研究を行った [11]。通常のゲージ理論における除きうるアノマリーの判定条件とボソン化における見かけ上のアノマリーの判定条件は全然異なることを示し、過去における経路積分を用いたボソン化法の基礎付けをおこなった。この分析はアーベル的なボソン化および非アーベル的なボソン化の両方に適用できるものである。

藤川は、P. Nieuwenhuizen氏(ニューヨーク州立大学)と共同して、2次元の超対称性に現れる中心拡大に対する量子補正を経路積分の定式化で考察し、この量子補正は変数変換のヤコビアンとして計算される一種の量子異常と理解されることを明確にした [12]。さらに、この量子異常の詳細を考察しその特殊性を明らかにした [13]。

藤川はR. Shrock氏(ニューヨーク州立大学)と共同して、ニュートリノの電磁的な性質に関する一般的な考察を行った。とくに、電荷半径がどうして物理的な測定量になれないかの基本的なメカニズムを明らかにした [14]。

湯川型の短距離力しか感じない粒子は、静止状態で二乗可積分な固有関数を持たない。故にヒッグス粒子の存在を仮定せずに標準模型での電弱統一を導き、ニュートリノの小質量やカラー閉じ込めを説明しえる [55]。西川はポアンカレ群に複素1次元の位相が内在していることを示し、その2階微分を電磁/重力場；これら遠距離力を感じる固有関数のうち、距離に比例するべきを強い力、ヒッグス機構(文字通り真空のエネルギー一定数のずれ)で生じる湯川型のべきを弱い力の源と解釈した。弱い力のL・S相互作用からニュートンのポテンシャルが生じる。

<受賞>

- [1] 柳田 勉, フンボルト賞, 2003年4月

<報文>

(原著論文)

- [2] T. Eguchi and H. Kanno, "Topological strings and Nekrasov's formulas," JHEP **0312**, 006 (2003).
 [3] T. Eguchi and H. Kanno, "Geometric transitions, Chern-Simons gauge theory and Veneziano type amplitudes," Phys. Lett. B **585**, 163 (2004).
 [4] T. Eguchi and K. Sakai, "Seiberg-Witten Curve for E-String Theory Revisited," Adv. Theor. Math. Phys. **7** (2003) 419.

- [5] T. Eguchi and Y. Sugawara, "Branches of $N = 1$ vacua and Argyres-Douglas points," JHEP **0305**, 063 (2003).
 [6] T. Eguchi and Y. Sugawara, "Modular Bootstrap for Boundary $N=2$ Liouville Theory," JHEP **0401**, 025 (2004).
 [7] T. Eguchi and Y. Sugawara, "SL(2,R)/U(1) supercoset and elliptic genera of non-compact Calabi-Yau manifolds," to appear in JHEP, arXiv:hep-th/0403193.
 [8] M. Fujii and M. Ibe, "Neutralino dark matter from MSSM flat directions in light of WMAP result," Phys. Rev. D **69**, 035006 (2004).
 [9] M. Fujii, M. Ibe and T. Yanagida, "Thermal leptogenesis and gauge mediation," Phys. Rev. D **69**, 015006 (2004).
 [10] M. Fujii, M. Ibe and T. Yanagida, "Upper bound on gluino mass from thermal leptogenesis," Phys. Lett. B **579**, 6 (2004).
 [11] K. Fujikawa and H. Suzuki, "Anomalies, local counter terms and bosonization", hep-th/0305008, Phys. Rep. C (in press).
 [12] K. Fujikawa and P. van Nieuwenhuizen, "Topological anomaly from the path integral measure in superspace", Ann. of Phys. 308(2003)78.
 [13] K. Fujikawa, A. Rebhan and P. van Nieuwenhuizen, "On the nature of the anomalies in the supersymmetric kink", Int. Jour. Mod. Phys. A18(2003)5637.
 [14] K. Fujikawa and R.E. Shrock, "On a Neutrino electroweak radius", Phys. Rev. D69(2004)013007.
 [15] M. Ibe and T. Watari, "Upper bound of proton life-time in product-group unification," Phys. Rev. D **67**, 114021 (2003).
 [16] K. Ideguchi and Y. Imamura, "Strings in a PP-wave background compactified on T^8 with twisted S^1 ," Prog.Theor.Phys. 110 (2003) 1021-1035
 [17] Y. Imamura, "Decay of type 0 NS5-branes to nothing," Phys.Rev. D69 (2004) 026005.
 [18] K.-I. Izawa, "Supergravity Minimal Inflation and its Spectral Index Revisited," Phys. Lett. **B576** (2003) 1.
 [19] K.-I. Izawa, T. Watari, and T. Yanagida, "Super- and CP-symmetric QCD in Higher Dimensions," Phys. Lett. **B**, in press.
 [20] T. Kawano and S. Yamaguchi, "Dilatonic Parallelizable NS-NS Backgrounds," Phys. Lett. **B568** (2003), 78.
 [21] J. M. Figueroa-O'Farrill, T. Kawano, and S. Yamaguchi, "Parallelizable Heterotic Backgrounds," JHEP **0310** (2003), 012.
 [22] I. Bars, I. Kishimoto and Y. Matsuo, "Analytic study of nonperturbative solutions in open string field theory," Phys. Rev. **D67** (2003) 126007.

- [23] I. Bars, I. Kishimoto and Y. Matsuo, “Fermionic ghosts in Moyal string field theory,” JHEP **0307** (2003) 027.
- [24] I. Kishimoto, Y. Matsuo and E. Watanabe, “Boundary states as exact solutions of (vacuum) closed string field theory,” Phys. Rev. **D68** (2003) 126006.
- [25] I. Kishimoto, Y. Matsuo and E. Watanabe, “A universal nonlinear relation among boundary states in closed string field theory,” Prog. Theor. Phys. **111** (2004) 433.
- [26] I. Kishimoto and Y. Matsuo, “Cardy states as idempotents of fusion ring in string field theory,” Phys. Lett. B to appear.
- [27] F. Koyama, Y. Tachikawa and T. Watari, “Supergravity Analysis of Hybrid Inflation Model from D3D7 System,” hep-th/0311191, Phys. Rev. D, in press.
- [28] Y. Nakayama, “Effective gauge degrees of freedom and the (non)existence of the glueball superpotential,” JHEP **0308**, 049 (2003).
- [29] Y. Nakayama, “Tadpole cancellation in unoriented Liouville theory,” JHEP **0311**, 017 (2003).
- [30] M. Nishikawa, “On singular potential of the Schrödinger equation,” Mod. Phys. Lett. A **18** (2003) 1991.
- [31] K. Ohmori, “Level-Expansion Analysis in NS Superstring Field Theory Revisited,” arXiv:hep-th/0306096, to be published in Int. J. Mod. Phys. A.
- [32] K. Ohmori, “Toward Open-Closed String Theoretical Description of Rolling Tachyon,” Phys. Rev. D **69**, 026008 (2004).
- [33] Y. Konishi and K. Sakai, “Asymptotic Form of Gopakumar–Vafa Invariants from Instanton Counting,” Nucl. Phys. B **682** (2004) 465.
- [34] Y. Sugawara, “Thermal partition function of superstring on compactified pp-wave,” Nucl. Phys. B **661**, 191 (2003).
- [35] Y. Sugawara, “Thermal partition functions for S-branes,” JHEP **0308**, 008 (2003).
- [36] Y. Tachikawa, “Derivation of the Konishi anomaly relation from Dijkgraaf–Vafa with (bi-)fundamental matters,” Phys. Lett. B **573**, 235 (2003).
- [37] Y. Tachikawa, “Derivation of the linearity principle of Intriligator–Leigh–Seiberg,” Prog. Theor. Phys. **110**, 841 (2003).
- [38] Y. Tachikawa, “Five-dimensional Chern–Simons terms and Nekrasov’s instanton counting,” JHEP **0402**, 050 (2004).
- [39] Y. Hikida, H. Takayanagi and T. Takayanagi, “Boundary states for D-branes with traveling waves,” JHEP **0304** (2003) 032.
- [40] H. Takayanagi, “Boundary states for supertubes in flat spacetime and Goedel universe,” JHEP **0312** (2003) 011.
- [41] G. C. Cho and Y. Uehara, “Cosmological gravitino problem confronts electroweak physics,” Phys. Rev. D **69**, 075003 (2004).
- [42] S. Yamaguchi, “AdS branes corresponding to superconformal defects,” JHEP **0306**, 002 (2003).
- [43] A. Hebecker, J. March-Russell and T. Yanagida, “Higher-dimensional origin of heavy sneutrino domination and low-scale leptogenesis,” Phys. Lett. B **552**, 229 (2003).
- [44] G. C. Branco, R. Gonzalez Felipe, F. R. Joaquim and T. Yanagida, “Removing ambiguities in the neutrino mass matrix,” Phys. Lett. B **562**, 265 (2003).
- [45] J. R. Ellis, M. Raidal and T. Yanagida, “Sneutrino inflation in the light of WMAP: Reheating, leptogenesis and flavor-violating lepton decays,” Phys. Lett. B **581**, 9 (2004).
- [46] K. Tobe, J. D. Wells and T. Yanagida, “Neutrino induced lepton flavor violation in gauge-mediated supersymmetry breaking,” Phys. Rev. D **69**, 035010 (2004).
- (会議抄録)
- [47] T. Eguchi and K. Sakai, “Seiberg–Witten Curve for E -String Theory,” Prog. Theor. Phys. Suppl. **152** (2003) 15.
- [48] T. Eguchi, Y. Sugawara and S. Yamaguchi, “Supercoset Cft’s For String Theories On Non-Compact Special Holonomy Manifolds,” Annales Henri Poincare **4** (2003) S93.
- [49] K. Fujikawa, “Lattice chiral symmetry, CP invariance and majorana fermions” Proceedings of International Conference in Theoretical Physics in Paris, TH2002, July 22-27, 2002, edited by D. Iagolnitzer, V. Rivasseau and J. Zinn-Justin (Birkhauser, 2003, Basel) P. 905.
- [50] 岸本 功, “Boundary states as exact solutions of (vacuum) closed string field theory,” 基研研究会「場の理論 2003」研究会報告, 素粒子論研究, **10-3** (2003-12) C-55.
- [51] S. Hayakawa, D. Ida, T. Shiromizu and T. Tanaka, “Gravitation In The Codimension Two Brane World,” Prog. Theor. Phys. Suppl. **148** (2003) 128.
- [52] 渡辺 英徳, 「閉弦の場の理論における境界状態」, 基研研究会「場の理論の基礎的諸問題と応用」研究会報告, 素粒子論研究 (掲載予定).
- (学位論文)
- [53] M. Fujii, “Baryo/DM-genesis through MSSM flat directions and several important topics on Thermal Leptogenesis.”

- [54] S. Hayakawa, “Cosmological Constant and Extra Dimension”.
- [55] M. Nishikawa, “Natural beauty of the standard model -A derivation of the electro-weak unified and quantum-gravity theory without assuming a Higgs particle-”. (審査継続中)
- [56] K. Ohmori, “Open Superstring Field Theory Applied to Tachyon Condensation.”
- [57] K. Sakai, “Geometric Aspects of E -String Theory.” (修士論文)
- [58] 小山 文一, 「超弦理論におけるインフレーション模型」.
- [59] 中山 優, “Liouville field theory: A decade after the revolution,” arXiv:hep-th/0402009.
- [60] 信山 竜二, 「Toric Calabi-Yau 多様体上の位相的弦理論」.
- [61] 桜井 真, “On the physics beyond the standard model” (標準模型を超えて).
- [62] 立川 裕二 “Supersymmetric Gauge Theory and Instanton Calculus.” (著書)
- [63] K. Fujikawa and H. Suzuki, “Path Integrals and Quantum Anomalies”, (Oxford University Press, 印刷中)
- [64] M. Fukugita and T. Yanagida, “Physics of Neutrinos,” Springer Berlin (2003).
- <学術講演>
- (国際会議)
- 一般講演
- [65] M. Nishikawa, “A Simple Possible Cause of Color Confinement,” Color Confinement and Hadrons in Quantum Chromodynamics, Tokyo Institute of Technology, and The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Japan, July 2003.
- 招待講演
- [66] 江口 徹, “Dynamics of $\mathcal{N} = 2$ and $\mathcal{N} = 1$ supersymmetric gauge theories,” 「Bangkok school on string theory」, バンコク, タイ, 2004年1月12日-18日.
- [67] 江口 徹, “Gauge/gravity correspondence in string theory,” COE 国際会議「Prospects on Fundamental Physics in the 21st Century」, 山上会館, 東京大学, 2004年2月16日-18日.
- [68] Y. Matsuo, “Boundary states as exact solutions of (vacuum) closed string field theory,” Workshop on Branes and Generalized Dynamics, Argonne National Laboratory, US, October 2003.
- [69] T. Yanagida, “Baryo-and Leptogenesis,” DESY Workshop on “GUT and Brane”, Hamburg, Sept. 23-25, 2003.
- [70] T. Yanagida, “Large Lepton Mixing in A String Brane World,” Fujiwara seminar on “Neutrino Mass and Seesaw Mechanism”, Tsukuba, Feb. 23-25, 2004.
- [71] T. Yanagida, “Neutrino Mass and Universe’s Baryon Asymmetry,” COE 国際会議「Prospects on Fundamental Physics in the 21st Century」, 山上会館, 東京大学, 2004年2月16日-18日.
- (国内会議)
- 一般講演
- [72] 藤井 優成, “A solution to the coincidence puzzle of Ω_B and Ω_{DM} ,” 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」, 2003年9月.
- [73] 伊部 昌宏, “Upper bound of Proton lifetime in product group unification,” 「素粒子物理学の進展」, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年7月.
- [74] 伊部 昌宏, “Neutralino dark matter and Affleck-Dine Baryogenesis”, 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」, 2003年9月.
- [75] 伊部 昌宏, “Upper Bound on Gluino Mass From Thermal Leptogenesis,” 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [76] 井手口 恒太, 「9次元コンパクト化された PP-wave 上の弦理論」, 場の量子論 2003, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年8月
- [77] 井手口 恒太, 「捻れたトーラスにコンパクト化された PP-wave 上の弦理論」, 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」, 2003年9月.
- [78] 岸本 功, “Boundary states as exact solutions of (vacuum) closed string field theory,” 場の理論 2003, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年8月.
- [79] 岸本 功, 「閉弦の場の理論における境界状態 II」, 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」, 2003年9月.
- [80] 岸本 功, 「閉弦の場の理論における冪等方程式とその応用」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [81] 小山 文一, 「D3D7 インフレーションモデルの解析」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [82] 中山 優, 「向き付けされていない2次元非臨界弦におけるタドポールの相殺」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [83] 西川 美幸, 「QCD カラー閉じ込めに関する一考察」, 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年7月.
- [84] 西川 美幸, 「シーソー機構を仮定しないニュートリノ小質量の導出」, 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」, 2003年9月.
- [85] 西川 美幸, 「Natural beauty of the standard model I -A possible origin of a U(1) gauge degree of freedom-」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [86] 西川 美幸, 「Natural beauty of the standard model II -Unification of the 4 interactions via a U(1) gauge symmetry without assuming a Higgs particle-」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.

- [87] 大森 一樹, “Cubic/Non-polynomial Correspondence in Open Superstring Field Theory?,” 場の量子論 2003, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年8月.
- [88] 大森 一樹, “Toward Open-Closed String Theoretical Description of Rolling Tachyon,” 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」, 2003年9月.
- [89] 菅原 祐二, “Branches of $N = 1$ vacua and Argyres-Douglas points,” 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」, 2003年9月.
- [90] 菅原 祐二, “Modular Bootstrap for Boundary $N=2$ Liouville Theory - Towards the Non-compact Gepner Models -,” 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [91] 立川 裕二, “Five-Dimensional Chern-Simons terms and Nekrasov’s Instanton Counting,” 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [92] 高柳 博充, “Boundary States for D-branes with Traveling Waves,” 場の量子論 2003, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年8月.
- [93] 高柳 博充, “Comments on Applications of D-branes with Traveling Waves,” 日本物理学会, 宮崎ワールドコンベンションセンター, 2003年9月.
- [94] 高柳 博充, “Boundary States for Supertubes,” 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.
- [95] 高柳 博充, “Boundary States for Supertubes in Gödel Background,” 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [96] 渡辺 英徳, 「閉弦の場の理論における境界状態 I」, 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, 2003年9月.
- [97] 渡辺 英徳, 「閉弦の場の理論における境界状態」, 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.
- [98] 渡辺 英徳, 「共形写像による閉弦の場の理論の定式化と冪等方程式」, 日本物理学会, 九州大学, 2004年3月.
- [99] 山口 哲, “AdS Branes Corresponding to Superconformal Defects,” 日本物理学会 2003年秋季大会, 宮崎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.
- [100] 山口 哲, “AdS Branes Corresponding to Superconformal Defects,” 研究会「場の量子論 2003」, 基礎物理学研究所, 2003年8月8日.
- [103] 江口 徹, “Topological strings and Nekrasov’s formulas,” 研究会「Quantum Periods」, 奈良国際高等研, 2003年11月18日-20日.
- [104] 江口 徹, “Dijkgraaf-Vafa and 4 dimensional CFT,” 研究会「時代精神としての数理論理」, 名古屋大学多元数理, 2003年11月25日-28日.
- [105] 江口 徹, “Topological strings and Nekrasov’s formulas,” 駒場 2003, 崎田先生追悼研究集会, 2003年11月27日-28日.
- [106] 藤川 和男, “Gauge Theory: Its Origin, Developments and Future,” 基礎物理学研究所「場の理論」研究会, 2003年12月24日-26日.
- [107] 藤川 和男, “Anomalies, local counter terms and path integral bosonization,” Sapporo Winter School, Niseko, January 9-11, 2004.
- [108] 松尾 泰, “Algebra of boundary states in closed string field theory,” 駒場 2003, 崎田先生追悼研究集会, 2003年11月27日-28日.
- [109] 柳田 勉, 「素粒子で宇宙の進化を解く」, 第18回「大学と科学」公開シンポジウム, 「宇宙の誕生と未来」東京, 平成16年1月31日-2月1日.

招待講演

- [101] 江口 徹, “Factorization of Seiberg-Witten curve and 4 dimensional $\mathcal{N} = 1$ superconformal field theory,” S.-T. Yau 氏との特別講演会, 東大数理科学研究科, 2003年7月12日.
- [102] 江口 徹, “Topological field theory from of string theory compactified on manifolds with G_2 holonomy,” サマースクール・富士山 2003, 富士教育研修所, 2003年8月13日-19日.