

## 1.1 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が続いている。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。

### 1.1.1 弦理論

#### 弦の場の理論とタキオン凝縮

開弦理論はDブレーン上に端をもつ基本弦の理論であるが、このDブレーンが不安定な場合には、この開弦のスペクトラムにタキオンが現れる。このタキオンが凝縮して安定な真空に移るということは、Dブレーンの崩壊を意味している。また、この凝縮に伴って現れるソリトンの配位はもとのDブレーンよりも次元の低いDブレーンとみなすことができる。

寺嶋は無数個の非 BPS D0 ブレーンの Boundary string theory における、任意の D ブレーンの厳密解を得た。[49]。また、寺嶋は浅川(京大)、杉本(CIT-USC)と共同でこの系の、作用を有限にするようなコンフィギュレーションは、analytic K-homology と呼ばれる作用素環の理論で分類されることを示した [50]。

高柳は、昨年度の研究に引き続き、オービフォルド理論における開弦タキオン凝縮を BSFT (boundary string field theory) の立場で一般的に調べた。結論として数学で McKay 対応と呼ばれる性質とタキオン凝縮の過程そのものが密接に関わっていることを見出した。[44]

タキオン凝縮は弦の場の理論によって理解できる。大森は、それまでになされてきた開弦の場の理論を用いたタキオン凝縮の研究についてレビューとしてまとめた [75]。

大森はまた、lump 解に対するゲージ変換の影響とその解のまわりでの開弦の質量スペクトルを弦の場の理論における level truncation の枠内で調べた [43]。さらに、超弦理論における 1 次元低い BPS D-brane が non-BPS D-brane 上のキंक解として構成されることを Berkovits の理論を用いた level truncation による計算で確かめた [42]。

寺嶋と上杉は弦の場の作用が非線形な超対称性の仮定だけでどの程度決定されるかを調べ、場の変数のとりかえの自由度を除けば boundary string field theory の結果と調和することを示した [45]。

タキオンが凝縮した後の安定な真空上の弦の場の理論として Rastelli-Sen-Zwiebach によって Vacuum String Field Theory (VSFT) が提唱された。川野は、奥山氏との共同研究で、開弦の場を行列として取り扱えるような定式化を議論した [26]。これは、

近年の非可換ゲージ理論との類推で、このような定式化が、この理論における古典解を構成する上で役立つことが期待される。また、畑氏との共同研究で、VSFT の古典解を一つ構成し、この古典解をもつ条件から、この理論の運動項にある不定性がなくなることを議論した。また、この古典解のまわりの揺らぎの一つであるタキオンの状態を調べた [27]。

松尾は弦の場の理論における D ブレーン解として Rastelli-Sen-Zwiebach とは多少異なる、物質場と ghost 場にかんして直積ではない形の解が存在していることを議論した。また非可換ソリトン解自体についても、Rastelli らが考えている sliver 解ではなく identity 作用素を解として考えた方がブレーンのテンションを再現するという上でより自然であると議論を行った。以上の議論は特定の BCFT の性質に依存せず、むしろ BCFT の公理系から素直に導ける事を指摘した [34][35][36]。

松尾は Bars との共同研究において、弦の場の理論を非可換空間ととらえる上で、困難を与える結合則の破れを指摘し、その困難をどのようにして回避するかを議論した [37]。また松尾は、結合則の破れは BCFT におけるプライマリー場のモノドロミー関係式に対応していることを指摘し、Chan-Paton ファクターによって結合則の破れが回避される可能性があることを議論した [70]。

開弦タキオン凝縮に続き閉弦タキオン凝縮の研究がここ最近注目をあびている。そのような研究においては例えば超対称性を破る理論 (Type 0 など) と超対称性を保つ理論 (Type II など) との関係を探ることが重要である。高柳 (匡) と上杉は Type 0 理論と type II 理論を marginal deformation として連続的につなぐ理論である Melvin 背景上の弦理論について調べ、その理論が一般の abelian orbifold 理論を含むモデルであることを示し、それらを高次元化された Melvin 背景上の弦理論にまで一般化した [46]。さらに boundary state の手法を用いて Melvin 背景上の D-brane を fractional D-brane、Type 0 D-brane、type II D-brane と関係付けた [47]。特に 2 階反対称テンソル場 (B-field) の効果で D-brane が安定であることを示した [48]。

高柳 (博) は修士論文の中で弦理論において、閉弦のタキオンを含む不安定な空間の変化についてまとめた。[82]。

渡辺は修士論文において、場の理論の Batalin-Vilkovisky 形式による定式化及び split-joining 型、及び non-polynomial 型の閉弦の場の理論についてまとめた。[83]

#### 非可換幾何

非可換ソリトンは D ブレーンの力学を議論する上で非常に有用かつ興味深い物理的対象であり、近年、精力的な研究がなされてきた。非可換ソリトンの厳密解の構成法としては、ADHM/Nahm 構成法と “Solution Generating Technique” と呼ばれるものの二つが知られている。浜中は [18] において、両者の関係を完全に明らかにした。また副産物として

非可換空間上の周期インスタントンの厳密解の具体的構成に初めて成功し、その Fourier 変換を議論した。それらの D ブレーン解も明快に与えた。

浜中はさらに、厳密解の構成に引き続き、阪大の今泉氏、太田氏と共同で、さまざまな次元の非可換ソリトンの低エネルギー散乱を議論した [17]。これは非可換パラメータが任意の領域で適用可能であり、またゲージ場を含んでいるため、D ブレーン系と対応が付けられる。特に D0-D4 ブレーン系に対応する議論に関しては、散乱角の衝突パラメータ依存性を解析的に厳密に求めた。

松尾と高柳は、東大数理の梶浦と共同で、非可換トラス上のタキオン凝縮を厳密に非可換ソリトン構成することによって解析した。結果として数学で森田同値と呼ばれる概念が、ソリトンの物理的な構成に本質的であることを見出し、それをういて brane-antibrane 系のタキオン凝縮を厳密に示した。[33]

市川は、非可換ソリトンの “solution generating technique” を拡張することで  $C^2/Z_2$  上の D ブレーン-反 D ブレーン系におけるタキオン凝縮を解析し、非可換ソリトンを分数的 D ブレーンとして分類するための幾つかのルールを与えた。

## カラビヤウコンパクト化

Gukov-Vafa-Witten は ADE 型特異点を持つ 4 次元カラビヤウ多様体に 4-form フラックスが存在する時、カラビヤウ多様体上にコンパクト化された弦理論はコセット型の 2 次元超共形場理論 (風間-鈴木模型) に一致することを示唆した。江口は梁、Warner とともにカラビヤウ多様体上の周期積分を評価することにより、実際に風間-鈴木模型のランダウーギンツブルグ型ポテンシャルが得られることを多くのコセットの場合に示した [1]。

近年、より低い space-time SUSY を実現するモデルとして、また AdS/CFT 対応を拡張する試みとして、 $G_2$  や  $Spin(7)$  などの特殊ホロノミー多様体にコンパクト化された M-理論及び超弦理論が盛んに研究されている。江口と菅原は ADE 型特異点を持つ 7 次元多様体が  $G_2$  ホロノミーを持つ場合この多様体上の弦理論を調べ、この系が  $N = 1$  超対称を持つリュービル理論と  $N = 1$  ミニマル模型の対を用いて記述出来ることを示した [2]。また、反正則な自己同型を持つカラビヤウ多様体  $M$  に円周  $S^1$  を加えこれを自己同型  $Z_2$  で割ってできる  $G_2$  ホロノミー多様体  $K = (M \times S^1)/Z_2$  を考え、 $M$  上の弦理論を記述する Gepner 模型をオービフォルド化することにより  $K$  上の弦理論の振幅を構成した [3]。

小西と那珂は多様体がコセット空間上の 1 次元コーンである場合に  $Spin(7)$  多様体、 $G_2$  多様体の計量が満たすべき常微分方程式を導出した [28]。

那珂は ADE 型の孤立特異点をもったカラビヤウ多様体上の弦理論の共形場理論による解析について博士論文にまとめた [80]。

高次元理論をコンパクト化して 4 次元理論を構成すると、4 次元理論には多数の Kaluza-Klein モードが含まれる。このような粒子は観測されていないの

で、従来は充分重いことが要請されていた。これに対して大竹は、超弦理論のカラビヤウコンパクト化で得られる 4 次元理論を調べることで、軽い粒子でも量子補正で不安定になり観測されない場合があることを示した。

野崎は開弦理論の立場から、風間-鈴木モデルと Landau-Ginzburg モデルの対応関係を考察した。特に、風間-鈴木モデルの boundary state を構成したとき、それが Landau-Ginzburg モデルのソリトンと対応することを見つけた。さらに Gukov-Vafa-Witten の議論を用いることにより、風間-鈴木モデルの boundary state は特異 Calabi-Yau four-fold 上の D4 ブレーンを記述しているという解釈を提案した [39]。またこれらの結果と共に、過去の Gepner モデルの boundary state の構成および  $SU(2)$  WZW モデルの boundary state の議論をあわせ、学位論文にまとめた [77]。

## 曲がった空間とその上の弦理論

M 理論のなかではでは ‘多様体 M 中の部分多様体を崩壊させて多様体 M の形を変えること’ で物理量を表すという手法が用いられる。ところで、多様体をそのような手法で調べるということは微分位相幾何や位相幾何で研究されている。小笠はこれまで使われることの少なかった一般の次元での多様体中の部分多様体について、微分位相幾何の見地、超弦理論の見地から研究を行い、その交叉領域で、部分多様体の新しい性質を発見した [40], [41]。

対称積空間上の閉弦理論は、閉弦の多体系を記述できることが知られている。藤はこうした対応を開弦理論において確かめる為に、分配関数や境界状態を求めた。さらに開弦の相互作用が正しく導入出来ることを調べる為に、4 つのタキオンの振幅を正確に再現することを示し、以上の結果を博士論文にまとめた。[79]

浅野は  $D_p$ -brane 背景時空中の  $N$  枚の D-brane の有効作用を調べた [135]。また、関野 (東工大) とともに、Berkooz-Douglas の行列模型を用いて、 $D_4$ -brane 背景時空中の  $D_0$ -brane の有効作用を求めた [153, 169]。

武藤は谷 (KEK) と共同で、オービフォルド上の D-brane ゲージ理論の真空のモジュライ空間を quiver の表現の安定性を使って調べ、トリーク幾何学による解析と比較することによって幾何学と表現の間に対応を付けた [38]。

足田と菅原は  $AdS_3$  空間上の弦理論における D ブレーンの研究を行った。共形場理論では D ブレーンは Boundary State の方法を用いて記述することが出来るが、我々は実際に Lorentzian  $AdS_3$  の場合の D ブレーンに対応する Boundary State の一部を構成した [20]。

橋本は、ホーキング-テュロック・インスタントンやヴィレンキン・インスタントンに関して、それらにみられる特異性が高次元では bolt に見えることを用いて、それらの作用を求めた結果をホーキング-テュロック・インスタントンについてのレビューと合わせて博士論文 [78] にまとめた。

3次元のゲージ理論は Chern-Simons の存在の為に4次元の理論とは大きく異なる性質を持ち、量子ホール効果などの研究に利用される。このようなゲージ理論は弦理論において宇宙項を持つ背景上のD2ブレーン上の理論として実現される。今村は [23] においてそのようなブレーンの配位に対応する  $1/4$  の超対称性を持った超重力理論の古典解を解析的に構成した。

### 超対称ゲージ理論

$N = 2$  の超対称性をもつ4次元ゲージ理論には Seiberg-Witten 解が存在し、Coulomb 相の低エネルギー構造が厳密に求まることが知られている。同数の超対称性電荷をもつ高次元理論として5次元  $N = 1$  ゲージ理論や  $E$ -string と呼ばれる6次元非局所場の理論があるが、これらについても4次元にコンパクト化して得られる有効理論に Seiberg-Witten 解が存在する。厳密解は Seiberg-Witten 曲線と呼ばれる代数曲線によって記述される。酒井は5次元  $N = 1$  ゲージ理論の Seiberg-Witten 曲線について、理論のもつ  $E_n$  型 Weyl 対称性を明示的に表す形を求めた [132]。さらに江口と酒井は、上の結果及び  $\frac{1}{2}K3$  上の  $N = 4$  位相的ゲージ理論の分配関数の計算をもとに、6次元  $E$ -string 理論の Seiberg-Witten 曲線を決定した [151]。得られた Seiberg-Witten 曲線からは  $E$ -string の分配関数が任意の次数で求められる。

### 1.1.2 高エネルギー現象論

#### 高次元モデル

4次元大統一理論で、2重項-3重項分離問題を解決するには14桁ものパラメタの微調整が必要となるが、丸は、高次元超対称大統一理論で2重項ヒッグスと3重項ヒッグスの波動関数の重なりによって、パラメタの微調整がせいぜい1桁に緩和できることを指摘した [31]。また、波場と丸は、上記の理論で3重項ヒッグスと物質場の結合が波動関数の重なりで小さくなっていけば、陽子崩壊実験データに矛盾せず TeV オーダーの3重項ヒッグスが存在でき、コライダー実験で検証できることを指摘した [32]。

AGASA, Fly's Eye などで観測されている GZK cut-off ( $E \sim 5 \times 10^{19}$ ) を超える超高エネルギー宇宙線を説明するシナリオとして超重粒子の崩壊が提案されている。植原と萩原 (KEK) は、Extra Dimension を用いることによって自然に超重粒子の寿命を長くできるシナリオを提案した。[51]。

植原は、1世代だけの右巻きニュートリノが Extra Dimension 方向で我々の brane と離れていることにより、長寿命を実現できることを示した。シーソー機構でニュートリノの質量を生成するには右巻きニュートリノの質量が  $M \sim 10^{14}$  GeV である必要があるから、この右巻きニュートリノの崩壊は自然に超高エネルギー宇宙線のエネルギーを説明する。さらに2重ベータ崩壊についても制限を加えることが出来た

[52]。

Large Extra Dimension のシナリオにおいては、fundamental scale が TeV であるから TeV 領域の衝突が起こるとブラックホールが生成される。植原は、高エネルギーニュートリノと ICECUBE などのニュートリノ検出器内部の氷との衝突によるブラックホール生成について考察した [53]。

強い相互作用における C P 問題の素直な解決が Pecci-Quinn (PQ) 対称性のもとで得られることはよく知られている。しかしながら PQ 対称性はあらわに破れた大局的対称性であるため、その存在には必然性がなく、特に重力の量子効果を考慮すると要請としては置きにくい。井沢、渡利、柳田は、高次元の QCD を考え、色つきのフェルミオンが高次元方向に分離した比較的ありふれた状況が実現されると、自然に PQ 対称性が帰結として現れ、結果的に C P 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 [25]。

超対称統一理論の模型の中に、柳田、井沢らによって提唱されている R-不変 統一模型というものがある。理論の整合性には問題ないのだが、既存の枠組では理解しきれない点もいくつか含まれていた。これに対し、今村、渡利、柳田は、この統一理論模型の中に  $N = 2$  の拡張された超対称性が存在することを重視し、この模型の背後にブレンワールドの高次元時空が存在するならば、その  $N = 2$  の超対称性ととも、これまでやや否定的に見られていた事柄も同時にごく自然に理解できることを示した [24]。同時に、その構造から、この模型を半単純統一模型と呼ぶことを提唱した。さらに、渡利、柳田はこの模型のうち  $N=2$  超対称性のもとで記述されている部分が IIB 型 10次元超重力理論の D-brane 解の中から得られることを示し、そこでは、理論の R 対称性が高次元の回転対称性から実際に得られることを見た [54]。

なぜ、クォークセクターは小角度混合なのに、レプトンセクターは大角度混合なのか、なぜ、 $SU(5)-10$  表現には大きな質量階層性があり、 $SU(5)-5^*$  表現にはそれが無いのか。これらの疑問にたいし、4次元場の理論にとどまる限りは、なかなかその本質に迫れない。渡利、柳田は、6次元超対称時空の  $T^2/Z_3$  オービフォールドコンパクト化を考えると、そのような  $SU(5)-10$  と  $SU(5)-5^*$  の違いが自然に出てくることを示した [55]。

超対称性の破れの Gauge Mediation Model ではグラヴィティーノの質量が電弱スケールより充分小さい(数 keV から数百 MeV)と考えられているので、最も軽い超対称粒子 (LSP) はグラヴィティーノである。しかし、我々の住む4次元時空が高次元時空に埋め込まれた超曲面で、超対称性はそれに平行な別の超曲面で破れて伝わって来ると考えると話は違う。この場合、グラヴィティーノの質量が電弱スケール程度でも問題なく、従ってニュートラリーノが LSP になる可能性がある。野村氏 (UC Berkeley) と鈴木は、高次元 Gauge Mediation Model ではニュートラリーノが LSP になり、さらにその現在の残存量が Cold Dark Matter の量と一致し得ることを示した。しかも、このとき加速器実験からの制限 (Higgs

boson, chargino の質量の下限、 $b \rightarrow s\gamma$  のレート)も満たしていることを示した。

宇宙項問題の解決への糸口は、観測されている四次元の宇宙項を、理論の積分定数として導き出せるか、というところにあると言える。早川と井沢は昨年度の正の宇宙項を持つ六次元時空のモデルに引き続き、今度は負の宇宙項を持つ六次元時空についても、これを warped コンパクト化するモデルを考え、四次元の宇宙項を理論の積分定数とすることを実現した [19]。4-brane と、背景場であるゲージ場を導入することで全時空が正則であることが可能となった。さらに、早川は KEK の平山氏、北野氏と共に、五次元時空に brane と質量ゼロのスカラー場を導入することで四次元の宇宙項を理論の積分定数とするモデルを考案した。これまで五次元時空のブレーンワールドは fine tuning が必要と考えられていたが、orbifold でない  $S^1$  コンパクト化と、モデルの global symmetry を取り入れることで fine tuning を除去することが出来た。

### 素粒子論的宇宙論

Affleck-Dine 機構を利用したバリオン生成 (AD baryogenesis) は、超対称標準理論の中で自然に実現される有望なモデルの一つである。近年、AD baryogenesis は non-topological soliton である Q-ball を生成しバリオンはその崩壊で供給されることが明らかになった。超対称理論において有望な dark matter の候補と考えられているものは bino ( $U(1)_Y$  gauge boson の超対称対)であるが、AD baryogenesis で一般に予言される Q-ball の崩壊はこの bino が熱浴から decouple してから起こるために、dark matter を作り過ぎてしまう。藤井、濱口、柳田は  $U(1)_{B-L}$  をゲージ化することによって、Q-ball の大きさを抑制し、この問題を解決できることを示した [7]。ゲージ化された  $U(1)_{B-L}$  対称性は3世代の right-handed Majorana ニュートリノを予言し、その質量はこの対称性の破れのスケールで決まる。このシナリオでは  $U(1)_{B-L}$  の破れのスケールが宇宙のバリオンの量から予言でき、それが ニュートリノ振動の観測結果の示唆するニュートリノの質量スケールをシーソー機構を通して良く説明することを明らかにした。

$LH_u$  flat direction を利用した AD leptogenesis は観測されるバリオンの量と最も軽いニュートリノの質量とが直接関係づけられる興味深いモデルである。藤井、濱口、柳田はこのシナリオにおいて  $U(1)_{B-L}$  のゲージ化が及ぼす影響を調べた [8]。flat direction が  $U(1)_{B-L}$  の D-term potential で持ち上げられる場合には、生成されるバリオン数が大きく enhance されることを明らかにした。このシナリオは、より低い再加熱温度が必要とされる超対称性の破れのモデル (gauge-mediation model 等) において十分なバリオンを供給できる数少ないシナリオの一つである。

R-parity を保存する超対称標準理論においては、最も軽い超対称粒子 (LSP) が安定になり、宇宙の dark matter の有望な候補となる。higgsino (Higgs boson の超対称対) あるいは wino (W-boson の超対

称対) が LSP の場合には、これらの対消滅率が高いために通常の宇宙の熱史ではこれらは dark matter の候補とはならない。藤井、濱口は AD baryogenesis で生成される Q-ball の低温における崩壊が higgsino あるいは wino LSP dark matter を自然に予言することを指摘した [9]。この場合、宇宙のバリオン数と dark matter の量が単一のシナリオで説明できることになる。また、これらの LSP は通常 dark matter と考えられている bino のより物質との相互作用も大きい。この研究で、higgsino あるいは wino dark matter が実際に実現していた場合に、次世代の dark matter 検出実験で十分に検証可能なことも明らかにした。

ニュートリノ振動で観測されている小さなニュートリノの質量を説明するために、レプトン数を破る相互作用を比較的低エネルギーで導入する模型がある。一般に、このような模型では、宇宙初期に作られたバリオン数が現在の宇宙に至る前に消えてしまう恐れがある。模型に存在する「レプトン数を破る相互作用」と「スファレロン」と呼ばれるバリオン数とレプトン数の線形結合を破る相互作用が同時に熱平衡に入ると、バリオン数が消えてしまうからである。浜口は、波場 (三重大、名古屋大)、鈴木 (名古屋大) と共に、Zee model と呼ばれる模型におけるこの問題を詳しく調べた [15]。その結果、宇宙初期に作られたバリオン数は消えることなく現在の宇宙まで保存される事が分かった。

標準模型に重い右巻きニュートリノを導入すると、シーソー模型によって軽いニュートリノの質量を自然に説明する事が出来る。超対称性模型においては、この重い右巻きニュートリノにスカラーパートナー  $\tilde{N}$  が存在する。浜口、柳田は、村山 (カリフォルニア大学バークレー校) と共に、初期宇宙のエネルギー密度がこの  $\tilde{N}$  によって支配されていた場合の leptogenesis について調べた [16]。この模型においては、現在の宇宙のバリオン数が右巻きニュートリノの性質だけで決まり、 $\tilde{N}$  が宇宙を支配する前の宇宙の熱史に依存しない。さらに、 $\tilde{N}$  の崩壊時に起きる莫大なエントロピー生成により、重力ティーノ問題が大きく改善される事が分かった。

藤井、濱口、柳田は、ニュートリノの質量が縮退していた場合の leptogenesis について調べた [6]。ここでは、ニュートリノの大混合角とクォーク、レプトンの質量階層性を自然に説明できる democratic mass matrix model を採用した。右巻きニュートリノが熱的に生成された場合、leptogenesis はうまく働かない。我々は、右巻きニュートリノがインフラトンの崩壊によって非熱的に生成された場合には leptogenesis がうまく働き、現在のバリオン数を説明することが出来ることを示した。

浜口は、博士論文において、超対称性理論におけるいくつかの leptogenesis 機構に関して包括的で詳細な研究を行った [76]。前半では「右巻きニュートリノの崩壊によるレプトン生成」について右巻きニュートリノの生成方法に応じて3つのシナリオについて調べ、後半では「 $LH_u$  平坦方向を介したレプトン生成」について詳細な解析を行った。

### 超対称統一理論

藤井、渡利は、(4次元時空)半単純統一モデルの予言する陽子の崩壊率を求め、 $3 \times 10^{34} - 10^{35}$ 年という陽子崩壊の寿命を得た。この値は、通常いわれている陽子の寿命  $10^{36}$ 年より短く、将来の実験で現実的に検出可能であることを意味する [5]。

黒澤、丸、柳田は、超対称標準理論と超対称大統一理論において Giudice-Masiero 機構が働く条件下でアノマリーのない離散的ゲージ R 対称性を見つけた。これら R 対称性はバリオン数、レプトン数を破る次元 4、5 の相互作用を禁止することがわかった。特に超対称大統一理論の場合は、TeV スケールに  $5 + 5^*$  のベクトル場が予言されることを指摘した [29]。

丸、坂井、阪村、杉坂は、4次元超対称理論において 3次元 BPS 壁と非 BPS 壁が共存する安定な古典解を見つけることに成功した [30]。片方の壁からもう一方の壁に超対称性の破れが、壁の距離に関して指数関数的に減少しながら伝わることを計算した。

Noscale モデルは現象論的に性質の良い超対称性の破れのモデルであるが、近年の実験の進展により、このモデルは Higgs boson の質量の下限と、「LSP は電荷を持っていない」という宇宙論的制限を同時に満たし得ないことが分かって来た。藤井と鈴木は、標準模型に内在する  $U(1)_{B-L}$  グローバル対称性をゲージ化したらどうなるかを研究した [4]。その結果、超対称大統一理論におけるゲージノの質量関係式を仮定すると上記の問題があるが、その仮定を外せば問題ないことが分かった。これはゲージ群が  $SO(10)$  よりも例えば  $SU(5) \times U(1)$  であることを示唆する。さらに、ゲージ化された  $U(1)$  対称性を破る Higgs multiplet の質量項を許せばゲージノの質量関係式を仮定しても問題ないことが分かった。

### 1.1.3 場の理論

#### 格子ゲージ理論

格子ゲージ理論におけるフェルミ粒子の扱いに最近大きな進展があったことは良く知られている。この進展はいわゆる Ginsparg-Wilson の関係式と呼ばれるもので特徴付けられる。この関係式を代数的に一般化しその解の具体的な構成を藤川が 2 年前に提案したが、この新しい種類の格子上のフェルミ粒子の演算子の研究を石橋と藤川は続けた。詳細な摂動計算に基づいて、この演算子はカイラルおよび Weyl 量子異常を正しく出すことが示された。[14]。同時に、知られている全ての Ginsparg-Wilson 型のフェルミ粒子の演算子にたいして、格子上の超対称性についてどのようなことが言えるかを研究した。結果としては、カイラル対称性を満たすような湯川結合が存在する場合は、Majorana フェルミ粒子は一般に定義できないことが見出された [12][13]。この結果は、今後の格子上での超対称性を議論する時の、非常に強い制約になるものと考えられる。同時に、CP 対称性の考察も行った。

### 場の理論の基礎的な考察

藤川は、スピンと統計の定理の経路積分の定式化での証明を試みた。この考察で基本的になるのは、正のエネルギー条件をどのように表現するかであるが、この論文では Feynman の  $m - i\epsilon$  処方を用いて正のエネルギー条件として採用することを提案した。この条件は負のエネルギーを持つ粒子は負の時間軸の方向に伝播し、結果として正のエネルギーが常に正の時間軸方向に伝播するように指定し、正のエネルギー条件が実現される。この提案により経路積分でも非常に簡単にスピンと統計の議論ができることが示された [11]。また藤川は、量子統計力学における第 2 法則 (エントロピー増大則) を Shannon の推定の理論を用いてどのように議論できるかの考察を行った。とくに、巨視的な変数を時間平均の操作により定義することを新しく提案した [10]。

微分演算子の次元は、作用する対象が明示されなければ意味を持たない。西川は、(論文で定義した) 演算子について閉じた真性特異点の一般形を構成し、あり得るポテンシャルの冪や符号を分類した。遠 / 近極限で結果は各々約 10 通りあり、空間次元が 1 以上 3 以下か否かによりかなり異なる。量子重力や繰り込みへの応用について述べた [68][72]。

<受賞>

<報文>

(原著論文)

- [1] T. Eguchi, N. P. Warner, S.-K. Yang, "ADE Singularities and Cset models", Nucl. Phys. **B607** (2001) 3-37.
- [2] T. Eguchi and Y. Sugawara "CFT Description of String Theory Compactified on Non-compact Manifolds with  $G_2$  Holonomy", Phys. Lett. **B519** (2001) 149-158.
- [3] T. Eguchi and Y. Sugawara "String Theory on  $G_2$  Manifolds Based on Gepner Construction", to be published in Nucl. Phys. **B**.
- [4] M. Fujii and K. Suzuki, "Investigation of no-scale supersymmetry breaking models with a gauged  $U(1)_{B-L}$  symmetry", to appear in Phys. Rev. **D**.
- [5] M. Fujii and T. Watari, "Proton decay in the semi-simple unification," Phys. Lett. **B527** (2002) 106.
- [6] M. Fujii, K. Hamaguchi and T. Yanagida, "Leptogenesis with almost degenerate Majorana neutrinos," to be published in Phys. Rev. **D**.
- [7] M. Fujii, K. Hamaguchi and T. Yanagida, "Affleck-Dine baryogenesis / leptogenesis with a gauged  $U(1)_{B-L}$ ," Phys. Rev. **D64** (2001) 123526.
- [8] M. Fujii, K. Hamaguchi and T. Yanagida, "Leptogenesis via LH(u) flat direction with a gauged  $U(1)_{B-L}$ ," Phys. Rev. **D65** (2002) 043511.
- [9] M. Fujii and K. Hamaguchi, "Higgsino and wino dark matter from Q-ball decay," Phys. Lett. **B525** (2002) 143.

- [10] K. Fujikawa, “Remarks on Shannon’s statistical inference and the second law in quantum statistical mechanics”, *Jour. of Phys. Soc. of Jpn*, **71** (2002) 67-74.
- [11] K. Fujikawa, “Spin-statistics theorem in path integral formulation”, *Int. J. Mod. Phys.* **A16** (2001) 4025-4044.
- [12] K. Fujikawa and M. Ishibashi, “Lattice chiral symmetry and the Wess-Zumino model”, *Nucl. Phys.* **B622** (2002) 115-140.
- [13] K. Fujikawa and M. Ishibashi, “Lattice chiral symmetry, Yukawa couplings and the Majorana condition”, *Phys. Lett.* **B528** (2002) 295.
- [14] K. Fujikawa and M. Ishibashi, “A perturbative study of general class of lattice Dirac operators”, *Phys. Rev. D* (in Press).
- [15] N. Haba, K. Hamaguchi and T. Suzuki, “Cosmological constraint on the Zee model,” *Phys. Lett.* **B519** (2001) 243.
- [16] K. Hamaguchi, H. Murayama and T. Yanagida, “Leptogenesis from sneutrino-dominated early universe,” *Phys. Rev.* **D65** (2002) 043512.
- [17] M. Hamanaka, Y. Imaizumi and N. Ohta, “Moduli space and scattering of D0-branes in noncommutative super Yang-Mills theory,” *Phys. Lett.* **B529** (2002) 163.
- [18] M. Hamanaka, “ADHM/Nahm construction of localized solitons in noncommutative gauge theories,” *Phys. Rev.* **D65** (2002) 085022.
- [19] S. Hayakawa and K. I. Izawa, “warped compactification with a four-brane,” *Prog. Theor. Phys.* **106** (2001) 641.
- [20] Y. Hikida and Y. Sugawara, “Boundary States of D-branes in  $AdS_3$  Based on Discrete Series,” *Prog. Theor. Phys.* **107** (2002).
- [21] Y. Hikida, M. Nozaki and Y. Sugawara, “Formation of Spherical D2-brane from Multiple D0-branes”, *Nucl. Phys.* **B617** (2001) 117-150.
- [22] Y. Hikida and Y. Sugawara, “Boundary States of D-branes in  $AdS_3$  Based on Discrete Series”, to be published in *Prog. of Theor. Phys.*
- [23] Y. Imamura, “1/4 BPS solutions in massive IIA supergravity”, *Prog. of Theor. Phys* **106** 653-670.
- [24] Y. Imamura, T. Watari and T. Yanagida, “Semi-simple group unification in the supersymmetric brane world,” *Phys. Rev.* **D64** (2001) 065023.
- [25] K.-I. Izawa, T. Watari, and T. Yanagida, “Higher-Dimensional QCD without the Strong CP Problem”, *Phys. Lett.* **B534** (2002) 93.
- [26] T. Kawano and K. Okuyama, “String Fields as Matrices”, *JHEP* **0106** (2001) 061.
- [27] H. Hata and T. Kawano, “Open String States around a Classical Solution in Vacuum String Field Theory”, *JHEP* **0111** (2001), 038.
- [28] Y. Konishi, M. Naka, “Coset construction of  $Spin(7)$ ,  $G_2$  gravitational instantons”, *Class. Quantum Grav.* **18** (2001).
- [29] K. Kurosawa, N. Maru and T. Yanagida, “Nonanomalous R-symmetry in Supersymmetric Unified Theories of Quarks and Leptons”, *Phys. Lett.* **B512** (2001) 203.
- [30] N. Maru, N. Sakai, Y. Sakamura and R. Sugisaka, “Simple SUSY Breaking Mechanism by Coexisting Walls”, *Nucl. Phys.* **B616** (2001) 47.
- [31] N. Maru, “Doublet-Triplet Splitting and Fat Branes”, *Phys. Lett.* **B522** (2001) 117.
- [32] N. Haba and N. Maru, “Light Higgs Triplets in Extra Dimensions”, *Phys. Lett.* **B532** (2002) 93.
- [33] H. Kajiura, Y. Matsuo and T. Takayanagi, “Exact tachyon condensation on noncommutative torus,” *JHEP* **0106** (2001) 041.
- [34] Y. Matsuo, “BCFT and Sliver State”, *Phys. Lett.* **B513**(2001) 195-199.
- [35] Y. Matsuo, “Identity Projector and D-brane in String Field Theory” *Phys. Lett.* **B514** (2001) 407-412.
- [36] Y. Matsuo, “Projection Operators and D-branes in Purely Cubic String Field Theory”, *Mod. Phys. Lett.* **A16** (2001) 1811-1822.
- [37] I. Bars and Y. Matsuo, “Associativity Anomaly in String Field Theory”, to appear in *Phys. Rev. D*.
- [38] T. Muto and T. Tani, “Stability of quiver representations and topology change”, *JHEP* **0109** (2001) 008.
- [39] M. Nozaki, “Comments on D-branes in Kazama-Suzuki models and Landau-Ginzburg theories”, *JHEP* **0203** (2002) 027.
- [40] E. Ogasa, “The intersection of spheres in a sphere and a new geometric meaning of the Arf invariants”, *Journal of knot theory and its ramifications*, to appear.
- [41] E. Ogasa, “Nonribbon 2-links all of whose components are trivial knots and some of whose braidings are nonribbon knots”, *Journal of knot theory and its ramifications* **10** (2001) 913-922.
- [42] K. Ohmori, “Tachyonic Kink and Lump-like Solutions in Superstring Field Theory,” *JHEP* **0105** (2001) 035.
- [43] K. Ohmori, “Survey of the Tachyonic Lump in Bosonic String Field Theory,” *JHEP* **0108** (2001) 011.
- [44] T. Takayanagi, “Tachyon condensation on orbifolds and McKay correspondence,” *Phys. Lett.* **B519** (2001) 137.
- [45] S. Terashima and T. Uesugi, “On the Supersymmetry of Non-BPS D-brane”, *JHEP* **0105** (2001) 054.

- [46] T. Takayanagi and T. Uesugi, “Orbifolds as Melvin Geometry”, JHEP **0112** (2001) 004.
- [47] T. Takayanagi and T. Uesugi, “D-branes in Melvin Background”, JHEP **0111** (2001) 036.
- [48] T. Takayanagi and T. Uesugi, “Flux Stabilization of D-branes in NSNS Melvin Background”, Phys.Lett. **B528** (2002) 156.
- [49] S. Terashima, “A Construction of Commutative D-branes from Lower Dimensional Non-BPS D-branes”, JHEP **0105** (2001) 059.
- [50] T. Asakawa, S. Sugimoto and S. Terashima, “D-branes, matrix theory and K-homology,” JHEP **0203** (2002) 034
- [51] Y. Uehara and K. Hagiwara, “Ultrahigh-Energy Cosmic Ray, Superheavy Dark Matter and Extra Dimension”, Phys. Lett. **B517** (2001) 383.
- [52] Y. Uehara, “Right-Handed Neutrinos as Superheavy Dark Matter”, JHEP **0112** (2001) 034.
- [53] Y. Uehara, “Production and Detection of Black Holes at Neutrino Array”, Prog. Theo. Phys. **107** (2002) 621.
- [54] T. Watari and T. Yanagida, “Semi-simple unification on  $\mathbf{T}^6/\mathbf{Z}_1\mathbf{2}$  orientifold in the type IIB supergravity,” Phys. Lett. **B520** (2001) 322.
- [55] T. Watari and T. Yanagida, “Higher dimensional supersymmetry as an origin of the three families for quarks and leptons,” to appear in Phys.Lett.B. (会議抄録)
- [56] K. Fujikawa, “Closing remarks”, in String Theory’, AIP conference proceedings of 10th Tohwa International Symposium on String Theory.
- [57] M. Nozaki, “Spherical D2-Brane from Multiple D0-branes”, AIP conference proceedings of 10th Tohwa International Symposium on String Theory.
- [58] T. Uesugi, “Brane-Antibrane Action from Boundary String Field Theory”, AIP conference proceedings of 10th Tohwa International Symposium on String Theory.
- [59] Y. Ohtake, “String Junction Transitions and Marginal Stability in  $N=2 E_N$  Theories”, AIP conference proceedings of 10th Tohwa International Symposium on String Theory.
- [60] Y. Hikida, “D-branes and Boundary States in  $AdS_3$ ,” AIP conference proceedings of 10th Tohwa International Symposium on String Theory.
- [61] 鈴木 功至郎, “Gauge mediation models with Neutralino Dark Matter”, 基研 2001 年度前期研究会「新世紀の素粒子像」研究会報告, 素粒子論研究, 104 巻 4 号, 2002 年 1 月.
- [62] 早川 祥子, “warped compactification with an abelian gauge theory”, 基研研究会「新世紀の素粒子像」研究会報告, 素粒子論研究
- [63] T. Uesugi, “Non-BPS D-brane と超対称性”, 基研研究会「場の量子論 2001」研究会報告, 素粒子論研究
- [64] 野崎真利, “Formation of Spherical D2-brane from multiple D0-branes”, 基研研究会「場の量子論 2001」研究会報告, 素粒子論研究, 2002 年 2 月, 104 巻 5 号 E49.
- [65] 浜中 真志, “Recent Developments in Non-Commutative Gauge Theory,” 基研研究会「場の量子論 2001」研究会報告, 素粒子論研究 **104-5** (2002-2) E27.
- [66] 武藤 知巳, “Stability of Quiver Representations and Topology Change”, 基研研究会「場の量子論 2001」研究会報告, 素粒子論研究 **104-5** (2002) E92.
- [67] 浜中 真志, “非可換ソリトンの ADHM/Nahm 構成法”, 基研研究会「場の量子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).
- [68] 西川 美幸, “繰り込みと真性特異点”, 基研研究会「場の量子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).
- [69] 大竹 由記子, “Stability of Kaluza-Klein modes in Five-dimensional  $SU(2)$  SQCD on  $S^1$ ”, 基研研究会「場の量子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).
- [70] Y. Matsuo, “Comments on Resolution of Nonassociativity in SFT”, to appear in the proceeding for “XXII Encontro Nacional de Fisica de Particulas e Campos”.
- [71] K. Fujikawa and M. Ishibashi, “Properties of a new class of lattice Dirac operators,” Nucl. Phys. Proc. Suppl. **106**, 712 (2002).
- [72] M. Nishikawa, “Quantum Gravity with Minimal Assumptions”, Proceedings of 11th Workshop on General Relativity and Gravitation, Waseda University, Tokyo, Japan, January 2002 (in press).
- [73] Y. Sugawara, “Wilson Line in  $SU(2)$  WZW Model and Spherical D-brane”, in the proceedings of the international workshop on “Noncommutative Geometry and String Theory”, Eds. Y. Maeda and S. Watamura, Prog. of Theor. Phys. Supplement No.144 (2001)
- [74] Y. Sugawara, “CFT Description of String Theory on  $G_2$  Manifolds”, 報告集: 研究集会「開 Calabi-Yau 多様体への代数幾何と弦理論からのアプローチ」, 中村郁、松下大介、秦泉寺雅夫編.
- (国内雑誌)
- [75] 大森 一樹, “A Review on Tachyon Condensation in Open String Field Theories”, 素粒子論研究, 104-2 (2001-11) 1-67.
- (学位論文)
- [76] K. Hamaguchi, “Cosmological Baryon Asymmetry and Neutrinos: Baryogenesis via Leptogenesis in Supersymmetric Theories.”
- [77] M. Nozaki, “Boundary CFT description of D-branes on curved backgrounds”.



- [78] M. Hashimoto, “Study of Singular Cosmological Instantons”.
- [79] Hiroyuki Fuji, “Open Superstring on Symmetric Product”.
- [80] M. Naka, “Singular Calabi-Yau Manifolds and ADE Classification of CFTs”.

(修士論文)

- [81] 植原 洋介, “Large Hadron Collider における Higgs Boson の生成とその精密測定”.
- [82] H. Takayanagi, “Closed String Tachyon 凝縮の研究”.
- [83] 渡辺英徳, “閉弦の場の理論の構造とその応用”.

(著書)

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [84] T. Uesugi, “Brane-Antibrane Action from Boundary String Field Theory”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [85] Y. Ohtake, “String Junctions and BPS Spectrum of Five-Dimensional  $N=1$   $E_N$  Theories on  $S^1$ ”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [86] Y. Hikida, “D-branes and Boundary States in  $AdS_3$ ”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [87] M. Naka, “Coset Construction of Metrics with Special Holonomy”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [88] M. Nozaki, “Formation of Spherical D2-brane from Multiple D0-branes”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [89] N. Maru, “SUSY Breaking by Overlap of Wave Functions in Coexisting Walls”, 8th International Symposium on Particles, Strings and Cosmology (PASCOS 2001), University of North Carolina at Chapel Hill, North Carolina, USA, April 10-15, 2001
- [90] 藤井優成, 『Recent developments in Affleck-Dine baryo/leptogenesis』, Summer Institute 2001 Session 2, 日経連富士研修所, 2001 年 8 月。
- [91] 藤井優成, 『Leptogenesis via LHU flat direction』, NOON 2001, 東京大学宇宙線研究所, 2001 年 12 月。
- [92] K. Hamaguchi, “Neutrino Mass and Baryon Asymmetry in Affleck-Dine Leptogenesis,” EuroConference on the Supersymmetry Breaking Problem: From the Planck Scale to the Electroweak Scale, La Londe les Maures, Toulon, France, May 2001.

- [93] M. Ishibashi, “Properties of a new class of lattice Dirac operators”, 19th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2001), Berlin, Germany, August 2001.

招待講演

- [94] K. Fujikawa, “Closing Remarks”, 10th Tohwa International Symposium on String Theory, Tohwa University, Fukuoka, Japan, July 2001.
- [95] K. Fujikawa, “Generalized Ginsparg-Wilson algebra and index theorem on the lattice”, APCTP-Nankai Joint Symposium: Lattice Statistics and Mathematical Physics, Tianjin University, Tianjin, China, October 2001.
- [96] K. Fujikawa, “Generalized Ginsparg-Wilson algebra and the notion of index on the lattice”, Karuizawa Seminar on Recent Development in Physics and Related Mathematics, Karuizawa, Japan, October 2001.
- [97] K. Fujikawa, “Spin-statistics theorem in path integral formulation”, Sapporo Winter School 2002, Sapporo, Japan, January 2002.
- [98] T. Takayanagi, “D-branes and Mirror Symmetry”, Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto, Feb 2002.
- [99] Y. Matsuo, “Noncommutative Soliton in Open String Field Theory”, September 2001, KIAS, Seoul, Korea.
- [100] Y. Matsuo, “Identity projector and D-brane in String Field Theory”, October 2001, XXII Encontro Nacional de Fisica, Sao Lourenco, Brazil
- [101] Y. Matsuo, “Noncommutative geometry and Open string field theory”, October 2001, IFT, Sao Paulo, Brazil and Planery talk at Encontro Nacional de Fisica, Sao Lourenco, Brazil
- [102] T. Eguchi, “Strings compactified on Singular Calabi-Yau Manifolds”, ITP, Santa Barbara, July 2001.
- [103] T. Eguchi, “D-branes and String Duality”, Pisa, Italy, Sept. 2001.
- [104] T. Eguchi, “Strings compactified on Manifolds with  $G_2$  Holonomy”, Oxford Mathematical Institute, Oct. 2001.

(国内会議)

一般講演

- [105] 早川 祥子, “warped compactification with an abelian gauge theory”, 『宇宙論、重力理論の最前線』, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 4 月
- [106] 丸 信人, “Nonanomalous R-symmetry in Supersymmetric Unified Theories of Quarks and Leptons”, 『新世紀の素粒子像』, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 7 月



- [107] 植原 洋介, “Ultra-High Energy Cosmic Ray, Superheavy Dark Matter and Extra Dimension”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [108] 藤井優成, “Afflec-Dine baryo/leptogenesis”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [109] 浜口 幸一, “Baryon asymmetry from  $\tilde{N}$  dominant universe”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [110] 渡利 泰山, “Semi-Simple Unification and GUT Breaking on D-branes”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [111] 鈴木 功至郎, “Gauge mediation models with Neutralino Dark Matter”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [112] 早川 祥子, “warped compactification with an abelian gauge theory”, 新世紀の素粒子像, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月
- [113] 大森 一樹, “Classical Solutions in Superstring Field Theory”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [114] 丸 信人, “SUSY Breaking by Stable Non-BPS Walls”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [115] 高柳 匡, “Holomorphic Tachyons and Fractional D-branes” 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [116] 上杉 忠興, “Non-BPS D-brane と超対称性”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [117] 野崎真利, “Formation of Spherical D2-brane from Multiple D0-branes”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [118] 酒井 一博, “コンパクト化5次元ゲージ理論の大域的対称性と厳密解”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [119] 石橋 真人, “一般化された Ginsparg-Wilson 関係式とそれを満たす Dirac 演算子の性質”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [120] Y. Hikida, “D-branes and Boundary States in  $AdS_3$ ”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [121] 那珂 通博, “Coset Construction of  $Spin(7)$ ,  $G_2$  Gravitational Instantons”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [122] 武藤 知巳, “Stability of Quiver Representations and Topology Change”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年7月.
- [123] 植原 洋介, “超重粒子の崩壊による超高エネルギー宇宙線の生成機構”, 第7回ニュートリノ研究会, 東京大学宇宙線研究所, 2001年7月
- [124] 鈴木 功至郎, “Gauge-mediated supersymmetry breaking models with neutralino dark matter”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [125] 丸 信人, “Nonanomalous R-symmetry in Supersymmetric Unified Theories of Quarks and Leptons”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [126] 植原 洋介, “Ultra-High Energy Cosmic Ray, Superheavy Dark Matter and Extra Dimension”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [127] K. Fujikawa, “Spin-statistics theorem in path integral formulation”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [128] 高柳 匡, “Orbifold におけるタキオン凝縮と McKay 対応”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [129] 上杉 忠興, “Non-BPS D-brane と超対称性”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [130] 野崎真利, “ $N=2$  coset models and boundary CFT”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [131] 浜中 真志, “ADHM/Nahm Constructions of Localized Solitons in Noncommutative Gauge Theories”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [132] 酒井 一博, “コンパクト化5次元ゲージ理論の大域的対称性と厳密解”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [133] 渡利 泰山, “Semi-Simple Unification in a Supersymmetric Brane-World”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [134] 石橋 真人, “一般化された Ginsparg-Wilson 関係式とそれを満たす Dirac 演算子の局所性の性質”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [135] 浅野 雅子, “Non-commutative branes in D-brane backgrounds”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [136] 菅原祐二, “CFT Description of String Theory Compactified on Non-compact Manifolds with  $G_2$  Holonomy”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [137] 武藤 知巳, “Stability of Quiver Representations and Topology Change”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [138] 大竹 由記子, “BPS Spectrum of D-branes on Non-Compact Calabi-Yau Manifolds”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [139] 早川 祥子, “warped compactification with an abelian gauge theory”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [140] Y. Hikida, “D-branes and Boundary States in  $AdS_3$ ”, 日本物理学会, 沖縄国際大学, 2001年9月.
- [141] 丸 信人, “Doublet-Triplet Splitting from the Overlap of Wave Functions”, Post NOON, 京都大学基礎物理学研究所, 2001年12月
- [142] 浜中 真志, “非可換ソリトンの ADHM/Nahm 構成法”, 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
- [143] 石橋 真人, “Lattice chiral symmetry and the Wess-Zumino model”, 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

- [144] 大竹 由記子, “Stability of Kaluza–Klein Modes in Five-Dimensional SU(2) SQCD on  $S^1$ ”, 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
- [145] 植原 洋介, “Measuring the Spin of Invisible Massive Gravitons at Future Linear Colliders”, 理論研究会「コライダーの物理」, KEK, 2002 年 2 月
- [146] 植原 洋介, “Measuring Anomalous Higgs-Vector Boson Couplings at  $e^+e^-$  Linear Colliders”, 理論研究会「コライダーの物理」, KEK, 2002 年 2 月
- [147] K. Fujikawa, “Remarks on Shannon’s statistical inference and the second law in quantum statistical mechanics”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [148] 高柳 匡, “D-branes in Melvin Background,” 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [149] 上杉 忠興, “Orbifold as Melvin Geometry”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [150] 浜中 真志, “非可換ソリトンの散乱について”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [151] 酒井 一博, “ $E$ -String の有効作用と Seiberg–Witten Curve”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [152] 石橋 真人, “Lattice chiral symmetry and the Wess-Zumino model”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [153] 浅野 雅子, “Analysis of non-abelian action of D0-branes in non-trivial background from Matrix theory”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [154] 武藤 知巳, “D-geometry の表現論的構造について”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- [155] 那珂 通博, “On Wrapped Branes in Gauged Supergravities”, 日本物理学会, 立命館大学, 2002 年 3 月.
- 招待講演
- [156] 川野 輝彦, “Vacuum String Field Theory”, 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 7 月
- [157] 浜中 真志, “Recent Developments in Non-Commutative Gauge Theory,” 場の量子論 2001, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 7 月.
- [158] 渡利 泰山, “Semi-Simple Unification in a Higher Dimensional Spacetime”, 特定領域研究会 “Strings, Branes and Unified Theories”, 京都大学基礎物理学研究所, 2001 年 11 月
- [159] Y. Matsuo, “Noncommutative Soliton in Open String Field Theory”, 2001 年 6 月, 小樽
- [160] T. Eguchi, “ADE Singularities and Cosets Models”, Meeting on Field Theory, 2001 年 6 月, 小樽
- [161] 菅原祐二, “CFT Description of String Theory on  $G_2$  Manifolds”, 開 Calabi-Yau 多様体への代数幾何と弦理論からのアプローチ, 2001 年 12 月, 北大
- [162] 那珂 通博, “局所ミラー対称性と 4 次元  $N = 2$  超対称ゲージ理論”, 開 Calabi-Yau 多様体への代数幾何と弦理論からのアプローチ, 2001 年 12 月, 北大
- [163] 渡利 泰山, “Proton Decay in the Semi-Simple Unification”, The 3rd Workshop on “Neutrino Oscillations and Their Origin” (NOON2001), 東京大学宇宙線研究所, 2001 年 12 月
- [164] Y. Matsuo, “Associativity anomaly in string field theory”, 特定領域「超対称性と素粒子の統一理論」平成 13 年度総括研究集会, 2002 年 2 月, 東大
- [165] 菅原祐二, “CFT Description of String Theory on  $G_2$  Manifolds”, 特定領域「超対称性と素粒子の統一理論」平成 13 年度総括研究集会, 2002 年 2 月, 東大
- [166] T. Eguchi, “Seiberg–Witten Curve for E-string Theory”, in “D-branes and Mirror Symmetry”, 2002 年 2 月.
- [167] 渡利 泰山, “Semi-Simple Unification”, KEK 理論研究会「コライダーの物理」, KEK, 2002 年 2 月
- [168] 植原 洋介, “Transplanckian Physics at the LHC”, pp collider working group: SUSY subgroup meeting, 東京大学素粒子物理国際研究センター, 2002 年 3 月
- [169] “Non-abelian action of D0-branes from Matrix theory in the longitudinal 5-brane background”, KEK 理論研究会 2002, 2002 年 3 月, KEK.
- [170] 菅原祐二, “CFT Description of String Theory on  $G_2$  Manifolds”, KEK 理論研究会 2002, 2002 年 3 月, KEK.
- (セミナー)