

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。

1.1.1 弦理論

超対称ゲージ理論と超弦理論

超対称ゲージ理論や超弦理論のモジュライ空間の特異点付近では、ソリトンが質量零になるなど非摂動論的效果が顕著に現れる。特に弦理論においては、張力が零の弦が出現することがある。その実例として小弦 (little string) や E 弦 (E-string) といった非臨界弦が発見されたが、これらの弦は基本弦 (F-string) や D1 ブレイン (D-string) と異なり直接的な定式化が与えられていないため、性質には未知の部分が多い。E 弦については円周にコンパクト化して BPS スペクトラムを調べる試みが部分的になされてきたが、江口と酒井は最も一般にモジュライパラメータを入れた場合に対して、BPS 分配関数を生成する Seiberg–Witten 曲線を構成した [1, 59, 118]。さらに江口と酒井はこの Seiberg–Witten 曲線の幾何学的性質を詳しく調べ、E 弦理論の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 [79, 120]。また E 弦の Seiberg–Witten 曲線は様々な既知の Seiberg–Witten 曲線を特殊な場合として含むが、特にその効用としてフレイバー数 4 の $SU(2)$ $\mathcal{N} = 2$ ゲージ理論の電磁トライアリティが自然に導かれることを示した [82, 83, 119]。

川野、岸本、大森は、最近、Berkovitz によって提唱された Pure Spinor を用いた超弦理論の明白なローレンツ共変性をもつ量子化への試みとその点粒子極限である $\mathcal{N} = 4$ の Yang-Mills 理論の超場形式で書かれた作用を得る可能性を調べた。

小西は博士論文 [68] において物質場が存在する場合の 4 次元超対称 $SU(2)$ ゲージ理論のジオメトリック・エンジニアリングを調べ、カラビ・ヤウ多様体の種数ゼロの正則曲線の数の分布の漸近的な様子を求めた。

曲がった背景上の弦理論と D-ブレーン

江口、菅原、山口は、先年度の江口、菅原の研究、及び、下記の山口の研究を進展させて、特殊ホロノミー多様体上の超弦真空の系統的な研究を行った。コニカルな特異性を持つ non-compact な特殊ホロノ

ミー多様体は、特定の幾何学的構造 ($SU(n)$, $Sp(n)$, G_2 , $Spin(7)$ ホロノミーに対し、それぞれ、“Sasaki-Einstein”, “tri-Sasakian”, “nearly Kähler non-Kähler”, “weak G_2 ”) を持つ Einstein 多様体上の cone として実現されることが知られている。これらの構造を持つ Einstein 均質空間に自然に対応する coset SCFT と $\mathcal{N} = 1$ 超対称 Liouville 理論からなる系 (“CFT cone”) が、期待される数の超対称性を持つことを証明し、非常に広いクラスの可解な超弦真空を得ることに成功した。こうした $\mathcal{N} = 1$ SCFT に基づいた超弦真空の構成は、これまであまり研究されて来なかったテーマである。更に、AdS/CFT 対応との関係、模型の幾何学的解釈、特異性を解消する摂動項と Ramond 基底状態の対応関係などについての考察を行った [2]。

山口は、京大の杉山氏とともに例外ホロノミー多様体の coset CFT による記述についての研究を行った。[48] 世界面の超対称性線形ディラトン系と coset CFT を組み合わせたモデルが、時空の超対称性を持つための条件を求めた。このようなモデルに関して分配関数が実際に消えることを示した。また世界面上の対称性として例外ホロノミー特有の代数がここで取り扱った系に存在していることを確かめた。

時間方向も曲がっていつ解ける弦理論はあまり良く知られていないが、その一つとして Melvin 背景を時間方向も曲げて拡張したものが知られている。これは時空の特異点を含む場合もあるが、その特異点が弦理論的に解消されている可能性がありそれを調べることは興味深い。そこで高柳 (博) と高柳 (匡) はその背景の弦理論的な性質を調べるためのプロープとして使うことができる D-brane を、boundary state の手法を用いて構成した。この brane 上の開弦の立場から見ると、特異点がスムーズになっているように見えることを確かめた。またこの背景は Penrose 極限で Nappi-Witten 背景になることが知られているが、D-brane 上の開弦スペクトルが Penrose 極限で正しく Nappi-Witten 背景上のそれになることを確かめた [40]。

高柳 (匡) は博士論文として、Melvin 背景における超弦理論を閉弦と開弦 (D-brane のスペクトラム) の両方の立場で解析した [70]。

山口は、AdS のブレーンと defect をもつ CFT の対応 (AdS/dCFT 対応) についての研究を行った。[49] defect 上の繰り込み群について AdS のブレーンの立場からの解析をおこない、defect 上の質量変形に対応する繰り込み群の流れを記述するブレーンの解を構成した。また AdS 側の理論で g 関数に当たるものを提案し、実際にこれが繰り込み群の流れに対して単調減少であることを証明した。

疋田は D ブレーンと同様に重要な弦理論の高次元の物体であるオリエンティフォールドの研究を行った。SU(2)/U(1)WZW 模型の例では、T 双対をうまく利用することで新しい種類のオリエンティフォールドを構成できることを示した。[16] また AdS_3 空間の例では、共形場理論の無矛盾条件を用いてオリエンティフォールドを構成した。[17]

弦の場の理論

松尾は USC の Bars 氏と共同で開弦の場の理論の研究を行った。まず弦の場の理論の基本的な問題点として無限自由度の行列演算に伴う結合則の破れを指摘し、この問題を回避できる正則化を提案した。[31] 次にこの正則化を用いて弦の場の理論の非可換幾何学的な定式化を行い、従来の作用素形式の定式化と極限で一致していることを Neumann 行列の一致などを通じて証明した。あからさまに結合則を満たすような形で弦の場の理論が定式化されたのはこれが最初である。[32]

岸本と松尾は USC の Bars 氏と共同で、この非可換積を用いた弦の場の理論の定式化を用いて、任意の摂動補正を閉じた形で導いた。従来弦理論の摂動補正はリーマン面の正則形式の知識を用いて幾何学的に導くしかなかったものであるが、弦の場の理論を用いると少数の行列の組み合わせで代数的に書くことが可能になった。[33] さらにこの定式化を使って、弦理論の非摂動的な解を導いた。開弦の非摂動的な解はいろいろなブレーンの生成消滅に関係する解であり、将来タキオン凝縮などについて厳密な取り扱いを可能にするものであると思われる。[34]

岸本は奈良女大の高橋氏との共同研究において Witten の弦の場の理論の古典解の一つとして提案されていた高橋-谷本の解のまわりの BRST 電荷を調べ、摂動的な開弦の励起が消えていることを示した [23]。これはタキオン凝縮解としてもつべき性質の一つである。

開弦の場の理論においては、古くから $*$ -代数の単位元 (identity string field) を用いた解の構成が議論されてきた。岸本と大森は、弦の場の理論の共形場理論による定式化を用いて identity string field を精確に取り扱う方法について議論した。さらに、identity に基づいた古典解を構成することで VSFT 作用の導出を試みた [24]。

大森は、開弦のタキオンが凝縮した後に残る安定な真空を記述する理論 (VSFT) の超弦の場合への拡張について議論した。VSFT においては、 $*$ -projector が D-brane を表す古典解であるということが議論されてきたが、Berkovits による超弦の場の理論ではこれは pure gauge 解であり、D-brane には対応していないということを指摘した [36]。また、ghost 変数のみで書かれた kinetic operator の具体的な形を 1 つ提案し、それがタキオン真空を記述するのにふさわしい性質を持っているということを示した [37]。

PP-wave 上の弦理論とホログラフィック・デュアリティー

近年、“PP-wave” と呼ばれるある種の重力平面波背景上の弦理論が、AdS/CFT 対応の stringy level での解析の有力な手段として、また、曲がった時空上の厳密に解ける超弦真空を与える新しい枠組みとして注目されている。

高柳 (匡) は、寺嶋氏 (アムステル大) とともに、超対称性がより少ない PP-wave 背景に対して弦理論

とゲージ理論の間の双対性が成り立つか調べるために、PP-wave のオービフォールドを解析した。その結果、 $N=2$ の超対称性ゲージ理論に対しては、特に twisted sector と呼ばれる弦理論特有の状態についても対応がうまく成り立つことが分かった。[42]

今村は、PP-wave 背景上の弦の状態と 4 次元ゲージ理論の BPS にきわめて近いゲージ不変演算子の間の対応について弦の摂動論を用いて議論した。ゲージ理論における R-電荷が角運動量に対応していることと角運動量の保存則より、平坦な時空上で非常に大きい角運動量を持った弦の状態が結合する D-ブレーン上のゲージ不変演算子は、非常に大きな R-電荷を持ったものであると予想される。今村は実際にこの振幅をゲージ結合定数や角運動量の逆数による展開の初項について計算することで、BMN 対応と呼ばれる演算子と弦の励起状態の間の対応が $\mathcal{N}=4$ の $U(N)$ 理論 [21] および $\mathcal{N}=2$ の $Sp(N)$ 理論 [22] について再現されることを示した。

疋田と菅原は、NSNS-flux のある場合における 6 次元の PP-wave/CFT 対応の研究を行った。Penrose 極限をうまく利用することで、PP-wave 上の超弦理論の状態が、双対な共形場理論における少し BPS 条件から外れた状態と対応していることを示した [18]。また、4 次元の PP-wave と $N=2$ 超対称共形場理論を組み合わせることで、拡大した超対称性を持つ広いクラスの可解な超弦理論の真空を構成した。この超弦真空は、時間方向も曲がっている超対称背景の非自明なモデルとなっており、通常のカラビヤウ・コンパクト化と比較すると、fractional な $U(1)_R$ -charge を持つセクターも物理的状態空間に寄与するという点で興味深い [19]。疋田はこれらの結果を元に pp-wave/CFT 対応のレビューを合わせて博士論文としてまとめた。[66]

高柳 (匡) は、PP-wave 背景の超弦理論の性質を理解するために分配関数のモジュラー不変性を調べた。さらにそれを利用して、PP-wave 背景において、type0 理論と呼ばれるフェルミオンを全く含まない弦理論のスペクトラムを決定し、ゲージ理論との双対性を考察した。[43]

菅原は、様々な PP-wave 背景上の閉弦及び開弦の thermal ensemble に対し、自由エネルギーの解析を行った。世界面上の描像ではこれは torus 及び cylinder amplitude に対応する。DLCQ の立場で演算子形式と経路積分の二つの方法で計算を実行し、それらの間の等価性を確かめた。特に経路積分では、モジュラー不変性、カーディ条件などがあからさまにチェックでき、その事実を利用して Hagedorn 的ふるまいを調べた [38]。また、コンパクト化された PP-wave に対しても同様の解析を行い、KK 運動量モードが decouple しているにも関わらず、モジュラー不変な thermal amplitude が得られることを示した。このモデルでは、ワインディング・モードが、DLCQ においては longitudinal な量子数に非自明に依存し、更に non-DLCQ 極限においては、自由エネルギーに寄与できないという、平坦な背景とは著しく異なった性質を持ち、大変興味深い [39]。

$AdS_5 \times S^5$ 背景上には球面状に膨らんだ D3-brane が BPS ソリトンとして安定に存在することが知られ

ている。この D3-brane は AdS/CFT 対応では Graviton と等価であるため Giant Graviton と呼ばれているが、これまでこの背景上の弦理論は厳密に解かれていないため、超重力理論の範囲内でのみ解析されてきた。高柳 (博) と高柳 (匡) は Giant Graviton の弦理論的性質を調べるため、Type IIB maximal PP-wave 背景上の Giant Graviton の性質を調べた。特に一部の Giant Graviton は開弦の境界として扱って、弦理論の観点からも BPS ソリトンで安定であることがわかった [41]。

疋田と山口は pp-wave 背景における D プレーンの研究を行った。pp-wave 背景上の D プレーンで時空の超対称性が残る場合を調べ、D プレーン上に端を持つ弦の世界面上の理論において超対称性を保つような境界条件と比較した。その際、弦上の理論として光錘ゲージでの Green-Schwarz 作用を用いた。[20]

井手口は修士論文において、pp-wave 背景上の超弦理論と超対称ヤン・ミルズ理論との間の双対性に関する最近の発展についてまとめた [75]。

非可換幾何, 数理論理学

非可換空間上のゲージ理論は、背景磁場 (B 場) 中の D プレーンの有効理論として近年非常に精力的に調べられた。特に非可換インスタントンは ADHM 構成法によって具体的に厳密に構成され、対応する D プレーンの性質についても理解が進んだ。これは自己双対 Yang-Mills 方程式が非可換空間でも「解ける」すなわち「可積分である」ことを意味する。

浜中は富山県立大の戸田晃一氏と共同で、非可換空間上の Lax 方程式 (KdV, KP etc.) の生成法を提唱し、様々な新しい非可換 Lax 方程式を見出すとともに、Ward 予想の非可換版にあたる次の予想を提唱した:「非可換 Lax 方程式は可積分であり、4 次元非可換自己双対 Yang-Mills 方程式の次元還元によって得られるであろう。」これは可積分系研究の新しい地平を切り開く可能性を秘めており、注目されている [85, 95, 139, 140]。弦理論との関わりも非常に興味深い。

超弦理論の非摂動的側面の理解には双対性が重要な鍵を握っている。浜中は東大数理の梶浦氏と共同で、超弦理論の T 双対性のゲージ理論的取り扱いを考察し、D0-D2p プレーン系に対する T 双対変換の厳密な定式化に成功した [14]。これは D0-D4 プレーン系に対する Nahm 変換と呼ばれるものの一般化になっており、数学的にも興味深い。

浜中はこれら一連の非可換空間上のソリトンと D プレーン力学の研究について、博士論文にまとめた [65]。特に ADHM(N) 構成法については、基礎から最近の発展まで包括的レビューとして [63] にまとめた。

小笠は n 次元多様体の中で $(n-2)$ 次元部分多様体が交叉しているときのような状況を調べてある場合を決定した。このような部分多様体の交叉の仕方の研究は近い将来 D-brane の研究に役立つと期待される [35]。

1.1.2 高エネルギー現象論

素粒子論的宇宙論, 超対称統一模型

大気及び太陽ニュートリノの振動実験は、ニュートリノに $0.1 - 0.01$ eV 程度の質量があることを示している。この小さい質量は、シーソー機構によれば、非常に大きな質量を持つ Majorana 粒子が存在することを意味する。この重い Majorana 粒子は高温の初期宇宙で大量に生成されたと考えられる。これらの Majorana 粒子は崩壊する時にレプトン数の非対称性を生む、このレプトン数非対称性は弱い相互作用の非摂動的効果によりバリオン数に移り変わる。このようにして、宇宙のバリオン数とニュートリノの質量は強い関係にある。柳田は、CERN の J. Ellis 氏、M. Raidal 氏らとともにこれらの関係について一連の研究を行った [50] [51]。

LH_u flat direction を利用した Affleck-Dine leptogenesis は、観測される宇宙のバリオンの量と最も軽いニュートリノの質量が直接関係づく興味深いバリオン生成モデルの一つである。このモデルは、有限温度効果を取り入れることで、宇宙の熱史にほぼ無関係に必要なとされるニュートリノの質量が予言される。藤井、濱口、柳田はこの事実をもとに $0\nu\beta\beta$ 崩壊率に関する予言をまとめ、将来の実験計画について検証可能なことを示した [3]。

Affleck-Dine baryogenesis は超対称標準模型の中に存在する flat direction における scalar 場の運動を利用したバリオン生成機構である。この scalar 場は振動開始後もなく Q-ball と呼ばれる non-topological soliton になることが分かっている。この Q-ball が非常に低い温度で崩壊することが、安定な LSP を過剰に生成し宇宙を overclose する問題が指摘されてきていた。藤井、濱口は通常は暗黒物質とは考えられていない higgsino あるいは wino が LSP の場合には、この overclose の問題を解決すると同時に、必要とされる暗黒物質を自然に説明することを明らかにした [4]。また、いくつかの主要な超対称性の破れのモデルにおいて、このモデルが暗黒物質を説明可能な parameter space を選びだし、そこでの直接検出実験、mono-energetic な photon を利用した間接検出実験の可能性について議論し、近い将来に十分検出可能なことを明らかにした。

藤井、濱口の研究は、Affleck-Dine baryogenesis が宇宙のバリオンと暗黒物質を同時に生成可能なことを明らかにしたが、藤井、柳田はある種の Affleck-Dine モデルにおいては、この二つの量が実際直接関係づけられることを発見した [5]。このモデルでは、バリオンと暗黒物質量は共に inflation の再加熱温度などの初期宇宙を記述する高エネルギーの parameter と独立に決定できる。この二つの物質量の比は squark の質量と LSP の対消滅断面積で記述できるのだが、典型的な squark の質量において higgsino あるいは wino が LSP の場合には、予言されるバリオンと暗黒物質の量の比が観測を非常に良く説明し、バリオンと暗黒物質の量がなぜ同程度であるかという coincidence 問題の一つの解を与えた。

gauge-mediation モデルは FCNC や SUSY CP

問題を美しく解決する超対称性の破れの機構である。この class のモデルは gravitino LSP を予言するが、gravitino が宇宙を overclose しない為に inflation の再加熱温度には厳しい上限が存在し、可能なバリオン生成機構を制限すると同時に不自然な微調整を要求していた。また、LSP である gravitino で暗黒物質を説明するにも inflation の再加熱温度に微調整が必要であった。藤井、柳田は μ -term 程度の超対称質量項をもった extra matter が存在すれば、AD baryogenesis によりバリオン数と暗黒物質を inflation モデルには依らずに同時に説明可能なことを示した [6]。このモデルでは、バリオン数と暗黒物質の量の間に低エネルギーの物理量による関係式が存在する。

藤井、柳田は direct type の gauge-mediation モデルにおいて、宇宙項をキャンセルする為に必然的に要求される R-symmetry の破れを利用することで、gravitino 問題を解決すると同時に、inflation の再加熱温度とは全く無関係に暗黒物質が自然に gravitino で説明可能なことを明らかにした [7]。R-symmetry の破れは、SUSY-breaking sector から Standard model sector に超対称性の破れを伝える働きをする messenger 粒子が低い温度で崩壊することを予言し、この際の entropy production が gravitino を暗黒物質として適当な量まで薄める働きをする。このモデルでは、gravitino 問題に由来していた inflation の再加熱温度の上限が消えることにより、標準的な thermal leptogenesis が自然に働くことできる。これは、超対称理論の中で gravitino 問題無しに thermal leptogenesis が働く初めてのモデルである。

HEIDELBERG-MOSKOW グループは、2重ベータ崩壊の兆候を世界ではじめて捉えた。植原は、この2重ベータ崩壊を R パリティの破れで説明することが可能か否かを調べた。結果、K 中間子の振動からくる制限が厳しいために、R パリティの破れを世代に依存する形にする必要があり、また、第1世代のある特定のカップリングにより2重ベータ崩壊が説明できることを明確にした。[44]

鈴木は、博士論文においてノースケール型超対称モデルを現象論的視点から詳細に研究した。特に、このモデルではヒッグス場の質量の下限値(実験値)と LSP が電氣的に中性であるという宇宙論的要請が両立しない問題があることに着目し、標準模型の $U(1)_{B-L}$ 対称性がゲージ化されているモデルの性質を解析した [69]。

伊部は、修士論文において、超対称性を持つ統一理論についてまとめた。前半では種々の統一理論における陽子崩壊からの制限について調べ、後半では特に4次元時空中での直積群を用いた統一モデルにおける陽子崩壊の解析を行なった。その結果そのモデルにおける陽子寿命の上限を得た [74]。

高次元モデル, プレーンワールド

ニュートリノ振動の解析は、クォークセクターとは異なり、1-2 世代間、2-3 世代間が大角度混合を起こしていることを示唆している。一方で、1-3 世代間の混合は小さい。この特殊な構造は、1つ余分な仮

定を導入することにより、デモクラティック仮説によってうまく説明されることが知られている。渡利、柳田は、デモクラティック構造と上記余分な仮定が、いかにして自然に導かれるかを、高次元超対称時空を仮定したモデルで説明した [47]。

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。福永と井沢は、高次元の warped 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、以前に考察した flat な場合と同じく自然に、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 [13]。

小林(京大)、丸、吉岡(東北大)は、高次元バルク中で超対称性が破れる機構を低エネルギー有効理論で再現しうる4次元直積群を持つゲージ理論を構成した。Dilaton/Moduli dominated SUSY breaking, Radion mediated SUSY breaking と呼ばれる高次元特有のシナリオがモジュライ場の F 項の真空期待値の空間の様々な極限に対応していることを明らかにした。実際に、tree level のゲージノ質量を陽に計算してこの対応関係が成立していることを示した [25]。

波場(三重大)、丸は、5次元超対称理論中にドメインウォールを考え、その上にゲージ多重項が平坦に広がり、物質場はドメインウォールによってダイナミカルに局在しているセットアップを考えた。まずヒッグスが wall 上の brane に局在しているとして、フェルミオンの質量階層性をオーダーレベルで生成する物質場の非常に単純な配位を3タイプ見つけた。次に、SUSY breaking VEV を持つ場が局在するプレーンを導入し、上で見つけた物質場の配位に対するスフェルミオンの質量スペクトルを調べた。そのプレーンが1世代と2世代の間に局在しているときは、1,2 世代が 10TeV、3 世代が 100GeV のデカップリングスペクトルになり、ヒッグス場が物質場から離れたところに局在すると、no scale 型スペクトルになることがわかった [26, 27]。

安倍(広島大)、小林(京大)、丸、吉岡(東北大)は、余次元が曲がった高次元理論を低エネルギーで再現する4次元直積群ゲージ理論を構成した。例として、5次元(超対称)Randall-Sundrum モデルが4次元平坦な(超対称)直積群ゲージ理論の特別な極限として構成できることを示した。様々なバルク場の質量スペクトル、波動関数の局在の性質が4次元理論においても再現することを示した。また、この4次元理論はゼロ質量ゲージ場の局在機構を与えた。現象論への応用として、湯川階層性が波動関数の重なり積分で生成されることを定性的に議論した [28]。

衛藤(東工大)、坂井(東工大)、丸、佐方(東工大)は、場の空間に巻きつき数を許す厳密な BPS ドメインウォールの古典解を4次元超重力理論に結合する sine-Gordon モデルで見つけた。プレーン境界上に宇宙項を導入することによって、巻きつき数のあるもの、ないものの複数のドメインウォール非 BPS 解

を構成する方法を与え、数値解を陽に示した。重力が弱い場合の近似解析解を求め、重力を切ったときに大局的超対称理論での非 BPS 解が再現できることを示した [29]。

波場 (三重)、丸、中村 (名大) は、高次元理論におけるフェルミオン質量階層性とスフェルミオンのスペクトルを研究した。[26], [27] と同じセットアップで、オーダー 1 の係数まで含めて実験データに合うフェルミオン質量階層性とその混合角を導出した。一方、スクォークの質量スペクトルはデカップリング解を出し、同時にスレプトンセクターでオーダー 1 の第 2、3 世代の混合角が出るような物質場の配位を見つけた。またその配位から十分大きなミュオン異常磁気モーメントがレプトンフレーバーの破れの拘束条件を満たしつつ、生成されることがわかった [30]。

早川は昨年度に引き続き、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について、様々な角度から検証と解析を行なった。その結果、4 次元の宇宙項をゼロにするためにラグランジアンパラメータの fine tuning は必要ないことが明確になった。またこのモデルは negative tension brane を導入していて、更に orbifolding をしていないにもかかわらず、安定であることが解析から分かった。

早川は白水氏と井田氏 (Tokyo Inst. Tech)、田中氏 (Kyoto U., FIHS) と共に六次元時空中の 3-brane 上の重力理論を調べた。この結果、低エネルギーでは Einstein 重力が補正項を含んだ形で実現することが分かった [15]。

時空が 4 次元以上だとして階層性問題を解決する理論において、植原は様々な実験事実から導かれる「基本スケール」についての制限をまとめた。結果、天体物理学からくる制限が非常に厳しく、余次元の数が 3 以下だともはや高次元理論は階層性問題を説明できないことを明確にした。[45]

将来建設が予定されている線形加速器において、高次元物理は重力子の共鳴状態の生成を预言する。植原は、小田切 (KEK)、浅川 (ICEPP, KEK) と共に、どのようなシグナルが重力子生成を見るのに用いられるかを考え、それから重力子のスピンを測定する手法についてまとめた。[46]

1.1.3 場の理論

格子ゲージ理論

藤川は、昨年に引き続き、格子ゲージ理論におけるフェルミ粒子の扱いの進展に伴った研究を行った。特にカイラルな理論を最近のフェルミ粒子の定式化に従って扱おうと、CP 対称性を自明な形では定式化できないことを一般的に示し [8]、さらにこの破れがカイラルなフェルミ粒子の量子化においてどのような効果を出すかの詳細な研究を行った [9]。さらに、関連した問題として超対称性を格子上で定義するとき問題となる Leibniz 則の破れに伴う問題点およびそれをいかに解決するかという問題を Wess-Zumino

模型をもとに考察した [10]。一般に理論が有限であれば、Leibniz 則の破れは連続極限では解消されることを、2 次元の有限な理論において具体的に示した [11]。CP の破れに関しては、domain wall 型の格子上のフェルミ粒子においても存在すること、およびこの定式化に基づくカイラルな理論は位相的な性質を局所性を満たす形では実現できないことを示した [12]。

場の理論の基礎的な考察

藤川は、P. Nieuwenhuizen 氏 (YITP, Stony Brook) 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異常およびより一般の超共形量子異常の経路積分に基づく定式化を与えた。さらに、藤川は R. Shrock 氏と共同して、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。

西川は、標準理論の各素粒子対の 2 体問題を、スピンを無視する近似のもとで研究した。ポテンシャル $\phi(r)$ 付き Klein-Gordon 方程式の固有関数 $R(r)$ は自由場項が有界で、今度はこれが新しい力 $\propto -\nabla R$ を生む...とき、可能な幕を分類すると、長距離極限で定理

1. 支配的な逆 2 乗力を感じるボソンは、逆 2 乗力を生めない。
2. もし重力が支配的でなければ、湯川型の短距離力の電荷をもつボソンは、長距離力の電荷を併せ持つか、(換算)質量 0 である。

が示せる [58][64][113]。 ν に適用できれば、 $SU(2)_L \times U(1)$ の統一が必然的に示せて興味深い。つぎに Higgs 機構の起源に漸近展開の縮退を提案した。真空の相転移と異なり、2 体問題でもなりたつ。さらに西川は、積分定数項 $a + b/r$ を重力と再定義してみた。K-G 方程式にはその 2 乗が現れる。 $b \propto M_X + M_Y$ として換算質量でスケールすれば 1 次項は Newton 項を生じ、かつ質量 0 光子も重力を感じる。2 次項は Schwarzschild 補正になる。平坦時空でも重力が扱えて、blackhole 解はない。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] T. Eguchi and K. Sakai, "Seiberg-Witten Curve for the E-String Theory," JHEP **0205** (2002) 058.
- [2] T. Eguchi, Y. Sugawara and S. Yamaguchi, "Supercoset CFT's for String Theories on Noncompact Special Holonomy Manifolds," Nucl.Phys. B **657** (2003) 3-52.
- [3] M. Fujii, K. Hamaguchi and T. Yanagida, Phys. Lett. B **538**, 107 (2002).
- [4] M. Fujii and K. Hamaguchi, Phys. Rev. D **66**, 083501 (2002).
- [5] M. Fujii and T. Yanagida, Phys. Lett. B **542**, 80 (2002).

- [6] M. Fujii and T. Yanagida, Phys. Rev. D **66**, 123515 (2002).
- [7] M. Fujii and T. Yanagida, Phys. Lett. B **549**, 273 (2002).
- [8] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki: " Ginsparg-Wilson operators and a no-go theorem ", Phys. Lett., **B538** (2002) 197 .
- [9] K. Fujikawa, M. Ishibashi and H. Suzuki: "CP breaking in lattice chiral gauge theories", JHEP04(2002)046.
- [10] K. Fujikawa: " Supersymmetry on the lattice and the Leibniz rule", Nucl. Phys. **B636**(2002) 80.
- [11] K. Fujikawa: "N=2 Wess-Zumino model on the d=2 Euclidean lattice", Phys. Rev. **D66** (2002) 074510.
- [12] K. Fujikawa and H. Suzuki: " Domain wall fermion and CP symmetry breaking ", Phys. Rev. **D** (2003) .
- [13] A. Fukunaga and K.-I. Izawa: "Warped QCD without the Strong CP Problem", Phys. Lett. B (2003), in press.
- [14] M. Hamanaka and H. Kajiura, "Gauge Fields on Tori and T-duality," Phys. Lett. B **551** (2003) 360-368.
- [15] S. Hayakawa, D. Ida, T. Shiromizu and T. Tanaka, "Gravitation In The Codimension Two Brane World," Prog. Theor. Phys. Suppl. **148**, 128 (2002).
- [16] Y. Hikida, "Orientifolds of SU(2)/U(1) WZW models", JHEP **0211**, 035 (2002).
- [17] Y. Hikida, "Crosscap states for orientifolds of euclidean AdS_3 ", JHEP **0205**, 021 (2002).
- [18] Y. Hikida and Y. Sugawara, "Superstrings on PP-wave backgrounds and symmetric orbifolds", JHEP **0206**, 037 (2002).
- [19] Y. Hikida and Y. Sugawara, "Superstring vacua of 4-dimensional pp-waves with enhanced supersymmetry", JHEP **0210**, 067 (2002).
- [20] Y. Hikida and S. Yamaguchi, "D-branes in pp-waves and massive theories on worldsheet with boundary," JHEP **0301** (2003) 072.
- [21] Y. Imamura: "Large angular momentum closed strings colliding with D-branes' ", JHEP **0206** (2002) 005.
- [22] Y. Imamura: "Open string - BMN operator correspondence in the weak coupling regime", Prog.Theor.Phys. **108** (2003) 1077.
- [23] I. Kishimoto and T. Takahashi, "Open string field theory around universal solutions," Prog. Theor. Phys. **108**, 591 (2002)
- [24] I. Kishimoto and K. Ohmori, "CFT Description of Identity String Field: Toward Derivation of the VSFT Action," JHEP **0205** (2002) 036.
- [25] T. Kobayashi, N. Maru and K. Yoshioka, "4D construction of bulk supersymmetry breaking," arXiv:hep-ph/0110117, Euro. Phys. Jour. C, in press.
- [26] N. Haba and N. Maru, "Decoupling solution to SUSY flavor problem via extra dimensions," Mod. Phys. Lett. A **17**, 2341 (2002)
- [27] N. Haba and N. Maru, "(S)fermion masses in fat brane scenario," Phys. Rev. D **66**, 055005 (2002)
- [28] H. Abe, T. Kobayashi, N. Maru and K. Yoshioka, "Field localization in warped gauge theories," Phys. Rev. D **67**, 045019 (2003)
- [29] M. Eto, N. Maru, N. Sakai and T. Sakata, "Exactly solved BPS wall and winding number in N = 1 supergravity," Phys. Lett. B **553**, 87 (2003)
- [30] N. Haba, N. Maru and N. Nakamura, "Decoupling and lepton flavor violation in extra dimensional theory," Phys. Lett. B **557**, 240 (2003)
- [31] I. Bars and Y. Matsuo, "Associativity anomaly in string field theory," Phys. Rev. D **65** (2002) 126006
- [32] I. Bars and Y. Matsuo, Phys. Rev. D **66** (2002) 066003
- [33] I. Bars, I. Kishimoto and Y. Matsuo, "String amplitudes from Moyal string field theory," Phys. Rev. D **67** (2003) 066002
- [34] I. Bars, I. Kishimoto and Y. Matsuo, "Analytic study of nonperturbative solutions in open string field theory," arXiv:hep-th/0302151, accepted for publication by Phys. Rev. D.
- [35] 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, **11**(2002) 1211-1231.
- [36] K. Ohmori, "Comments on Solutions of Vacuum Superstring Field Theory," JHEP **0204** (2002) 059.
- [37] K. Ohmori, "On Ghost Structure of Vacuum Superstring Field Theory," Nucl. Phys. **B648** (2003) 94-130.
- [38] Y. Sugawara, "Thermal amplitudes in DLCQ superstrings on pp-waves," Nucl. Phys. **B650** (2003) 75-113
- [39] Y. Sugawara, "Thermal partition function of superstring on compactified pp-wave," arXiv:hep-th/0301035. Nucl. Phys. B, in press.
- [40] H. Takayanagi and T. Takayanagi, "Open strings in exactly solvable model of curved space-time and pp-wave limit," JHEP **0205** (2002) 012.
- [41] H. Takayanagi and T. Takayanagi, "Notes on giant gravitons on pp-waves," JHEP **0212** (2002) 018.
- [42] T. Takayanagi and S. Terashima, "Strings on orbifolded pp-waves," JHEP **0206** (2002) 036.
- [43] T. Takayanagi, "Modular invariance of strings on pp-waves with RR-flux," JHEP **0212** (2002) 022.

- [44] Y. Uehara, "Neutrinoless double beta decay with R-parity violation," *Phys. Lett. B* **537**, 256 (2002)
- [45] Y. Uehara, "A mini-review of constraints on extra dimensions," *Mod. Phys. Lett. A* **17**, 1551 (2002)
- [46] E. Asakawa, K. Odagiri and Y. Uehara, "Measuring the spin of invisible massive graviton excitations at future linear colliders," *JHEP* **0301**, 062 (2003)
- [47] T. Watari and T. Yanagida, "Geometric origin of large lepton mixing in a higher dimensional spacetime," *Phys. Lett. B* **544** (2002) 167
- [48] K. Sugiyama and S. Yamaguchi, "Coset construction of noncompact Spin(7) and G_2 CFTs," *Phys. Lett. B* **538** (2002) 173.
- [49] S. Yamaguchi, "Holographic RG flow on the defect and g-theorem," *JHEP* **0210** (2002) 002.
- [50] J.R. Ellis, M. Raidal and T. Yanagida: "Observable Consequences of Partially Degenerate Leptogenesis", *Phys. Lett. B* **546** (2002) 228.
- [51] P. Frampton, S. L. Glashow and T. Yanagida: "Cosmological Sign of Neutrino CP Violation", *Phys. Lett. B* **548** (2002) 119.
- (会議抄録)
- [52] K. Fujikawa: "Lattice chiral symmetry, CP invariance and Majorana fermions": Proceedings of International Conference in Theoretical Physics in Paris, TH2002, edited by H. Iagonitzer and J. Zinn-Justin (in press).
- [53] 浜中 真志, "D0-D4 ブレイン系のゲージ理論的解析," 基研研究会「場の量子論 2002」研究会報告, 素粒子論研究 **106-3** (2002-12) C86.
- [54] 戸田 晃一, 浜中 真志, "A Construction of Soliton Equations on Non-commutative Spaces," 研究集会「非線形波動および非線形力学系に関する最近の話題」研究会報告 (2003) 掲載予定.
- [55] 疋田 泰章, "Superstrings on PP-wave backgrounds and symmetric orbifolds", 基研研究会「場の理論 2002」研究会報告, 素粒子論研究.
- [56] 岸本 功, "Open String Field Theory around Universal Solutions," 基研研究会「場の理論 2002」研究会報告, 素粒子論研究, **106-3** (2002-12) C-81.
- [57] 岸本 功, "Moyal formulation of String Field Theory," 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)
- [58] M. Nishikawa, "Alternative to Higgs and Unification", proceedings of the 12th Workshop on General Relativity and Gravitation, University of Tokyo, Tokyo, Japan, November 2002.
- [59] 酒井 一博: "Seiberg-Witten Curve for the E-String Theory", 基研研究会「場の量子論 2002」研究会報告, 素粒子論研究 **106-3** (2002-12) C90
- [60] 鈴木 功至郎, "Investigation of no-scale supersymmetry breaking models with a gauged $U(1)_{B-L}$ symmetry", 日本物理学会 (於立教大学、2002年9月) 概要集
- [61] 高柳 博充, "Open strings in exactly solvable model of curved spacetime," 基研研究会「場の量子論 2002」研究会報告, 素粒子論研究 **106-3** (2002) C72.
- [62] 高柳 博充, "Notes on Giant Gravitons on PP-waves," 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).
- (国内雑誌)
- [63] 浜中 真志, "ADHM/Nahm 構成法とその双対性," 素粒子論研究 **106-1** (2002-10) 1-60.
- [64] 西川 美幸, 「繰り込みと真性特異点」, 素粒子論研究 **105-4**(2002)118; **106-5**(2003)110.
- (学位論文)
- [65] M. Hamanaka, "Noncommutative Solitons and D-branes,"
- [66] Y. Hikida, "Superstrings on NSNS pp-waves and their CFT duals".
- [67] M. Ishibashi, "CP symmetry and lattice chiral gauge theories".
- [68] Y. Konishi, "Geometric Engineering of N=2 SU(2) Gauge Theory with Massive Matter Fields"
- [69] K. Suzuki, "Phenomenological analysis of no-scale supersymmetry breaking models"
- [70] T. Takayanagi, "Superstring Theory in Melvin Background".
- [71] T. Uesugi, "Worldsheet description of tachyon condensation in open string theory".
- [72] T. Watari, "Product-group Unification and its Extension to Higher Dimensional Spacetime."
- (修士論文)
- [73] 福永 顕人, "強い CP 問題と曲がった高次元"
- [74] 伊部 昌宏, "直積群による統一理論と陽子崩壊"
- [75] 井手口 恒太, "pp-wave 背景上の弦理論と超対称ゲージ理論"
- [76] 西山 知宏, "pure spinor による super Poincare covariant な量子化への展望"
- [77] 清水 寿顕, "Superstring and M Theory on a Manifold with G_2 Holonomy"
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- [78] T. Watari, "Three Family Structure from Supersymmetric Higher Dimensions," SUSY 2002 at DESY, June 2002.
- 招待講演
- [79] 江口 徹: "Seiberg-Witten curve for E-string theory", JAMI conference, John's Hopkins University, 3/16-19/2002

- [80] 江口 徹: "String compactification on manifolds with special holonomy", Theoretical Physics 2002 (TH-2002), Paris, 7/22-26/2002
- [81] 江口 徹: "CFT analysis of the geometry of G_2 manifolds", 8/12-15/2002, String Theory conference at inauguration of Center of Mathematical Science, Zhejiang University, China
- [82] 江口 徹: "Seiberg-Witten curve for E-string theory", 8/17-19/2002, satellite meeting of ICM2002, Institute for Theoretical Physics, Beijing, China
- [83] 江口 徹: "Seiberg-Witten curve for E-string theory", 「String Theory」, 西宮記念シンポジウム, 11/12-15/2002
- [84] K. Fujikawa: "Lattice chiral symmetry, CP invariance and Majorana fermions": International Conference in Theoretical Physics in Paris, TH2002, UNESCO, Paris, France, July 2002
- [85] M. Hamanaka, "Towards Noncommutative Integrable Systems," XV Workshop on Beyond the Standard Model, Bad Honnef, Germany, March 2003.
- [86] Y. Matsuo, "Computing String Diagrams by Moyal Product", International Workshop on Quantum Field Theory and Noncommutative Geometry, Tohoku University, November 26-30, 2002
- [87] T. Yanagida: "Leptogenesis", Neutrino 2002, Munich, Germany, June 2002.
- [88] T. Yanagida: "Neutrino Mass and Leptogenesis" SUSY 2002, DESY Hamburg, Germany, July 2002.
- (国内会議)
- 一般講演
- [89] "Supersymmetry on the lattice and related topics" 基礎物理学研究所「場の理論」研究会, 2002年12月18日-20日.
- [90] 浜中 真志, "D0-D4 ブレイン系のゲージ理論的解析," 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月.
- [91] 浜中 真志, "T-duality, Morita Equivalence and Nahm Transformation," 日本物理学会, 立教大学, 2002年9月.
- [92] 浜中 真志, "非可換ソリトンとDブレイン," Summer School 数理物理 2002, 東京大学, 2002年9月.
- [93] 浜中 真志, "非可換 BPS 方程式の自己ベックルト変換," 日本数学会, 島根大学, 2002年9月.
- [94] 浜中 真志, "非可換空間上のインスタントンの ADHM 構成法," 日本数学会, 島根大学, 2002年9月.
- [95] 浜中 真志, "非可換空間上の場の理論と可積分系," 場の理論の数理とその応用, 京都大学数理解析研究所, 2002年10月.
- [96] 浜中 真志, "Nahm 変換の一般化と T-duality," 日本数学会, 東京大学, 2003年3月.
- [97] 浜中 真志, "非可換ソリトンの低エネルギーの散乱について," 日本数学会, 東京大学, 2003年3月.
- [98] 早川 祥子:「Simple Brane World Scenario with Positive Five Dimensional Cosmological Constant」素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月
- [99] 疋田 泰章, "Superstrings on PP-wave backgrounds and symmetric orbifolds", 場の理論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月.
- [100] 疋田 泰章, "Superstrings on PP-wave backgrounds and symmetric orbifolds", 日本物理学会, 立教大学, 2002年9月.
- [101] 疋田 泰章, "Orientifolds of $SU(2)/U(1)$ WZW models", 日本物理学会, 東北学院大学, 2003年3月.
- [102] 伊部 昌宏, "直積群を用いた統一理論における陽子崩壊の解析" 日本物理学会, 東北学院大学, 2003年3月
- [103] 岸本 功, "Open String Field Theory around Universal Solutions," 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月.
- [104] 岸本 功, "Open String Field Theory around Universal Solutions," 日本物理学会, 立教大学, 2003年9月.
- [105] 岸本 功, "Moyal formulation of String Field Theory," 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.
- [106] 岸本 功, "Developments in Moyal String Field Theory II," 日本物理学会, 東北学院大学, 2003年3月.
- [107] 丸 信人, "Light Higgs Triplets in Extra Dimensions", 日本物理学会, 立教大, 2002年9月.
- [108] 丸 信人, "(S)fermion Masses in Fat Brane Scenario", 日本物理学会, 立教大, 2002年9月.
- [109] 丸 信人, "Quantum Effects of Modulus Fields and Finite Soft Terms in Product-Group Gauge Theories", 日本物理学会, 東北学院大, 2003年3月.
- [110] 丸 信人, "(S)fermion Masses in Fat Brane Scenario", "Summer Institute 2002", 日経連富士研修所, 2002年8月.
- [111] 丸 信人, "Fat Branes and Its Phenomenology", "Extra Dimensions and Braneworld", 京都大学基礎物理学研究所, 2003年1月.
- [112] 西川 美幸, 「必要最小限の仮定に基づく量子重力理論の構成に向けて」, 日本物理学会, 立教大学, 2002年9月.
- [113] M. Nishikawa, "Alternative to Higgs and Unification", 場の理論の数理とその応用, 京都大学数理解析研究所, 2002年10月, hep-th/0207063.
- [114] 西川 美幸, 「ヒッグス機構を用いない電弱統一および量子重力理論の導出」, 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.
- [115] 大森 一樹, "Ghost Kinetic Operator of Vacuum Superstring Field Theory," 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月.

- [116] 大森 一樹, “Construction of Brane Solutions in Vacuum Superstring Field Theory,” 日本物理学会、立教大学、2002 年 9 月.
- [117] 大森 一樹, “Some issues on vacuum superstring field theory,” 日本物理学会、東北学院大学、2003 年 3 月.
- [118] 酒井 一博: “Seiberg–Witten Curve for the E -String Theory,” 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月
- [119] 酒井 一博: “Seiberg–Witten 曲線の正則断面と強弱双対性再考”, 日本物理学会, 立教大学, 2002 年 9 月
- [120] 酒井 一博: “ E 弦理論の Seiberg–Witten 曲線と有理楕円曲面の幾何学”, 日本物理学会, 東北学院大学, 2003 年 3 月
- [121] 菅原 祐二, “Superstring vacua of 4-dimensional pp-waves with enhanced supersymmetry”, 日本物理学会, 立教大学, 2002 年 9 月.
- [122] 菅原 祐二, “Thermal Amplitudes in Superstrings on PP-waves,” 日本物理学会, 東北学院大学, 2003 年 3 月.
- [123] 鈴木 功至郎, “Investigation of no-scale supersymmetry breaking models with a gauged $U(1)_{B-L}$ symmetry”, 日本物理学会、立教大学、2002 年 9 月
- [124] 高柳 博充, “Open strings in exactly solvable model of curved spacetime,” 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月.
- [125] 高柳 博充, “拡張メルビンモデル上の D-brane,” 日本物理学会, 立教大学, 2002 年 9 月.
- [126] 高柳 博充, “Notes on Giant Gravitons on PP-waves,” 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.
- [127] 高柳 博充, “Boundary States for D-branes with Traveling Waves,” 日本物理学会, 東北学院大学, 2003 年 3 月.
- [128] 渡辺 英徳: “時間依存性のある背景中の D-brane について”, 日本物理学会, 東北学院大学, 2003 年 3 月
- [129] 山口 哲, “Coset construction of noncompact Spin(7) and G_2 CFTs,” 場の量子論 2002, 基礎物理学研究所, 2002 年 7 月.
- [130] 山口 哲, “Holographic RG flow on the defect and g-theorem,” 日本物理学会, 立教大学, 2002 年 9 月.
- [131] 山口 哲, “PP-wave 背景中の D-brane と境界のある 2 次元面上の場の理論,” 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.
- [132] 山口 哲, “AdS/dCFT correspondance, g-theorem, and special Lagrangian singularities,” Extra dimension と Braneworld — 素粒子理論、現象論、宇宙論 —, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 1 月.
- [133] 山口 哲, “PP-wave 背景中の D-brane と境界のある 2 次元面上の場の理論,” 日本物理学会, 東北学院大学, 2003 年 3 月.
- [134] 江口 徹: “超弦理論の現在”, 9 月 21 日, 22 日, 23 日, 東大数理科学 「数理物理 2002」
- [135] 江口 徹: “超弦理論の現在”, 9 月 28 日, 日本数学会特別講演、島根
- [136] K. Fujikawa: “Lattice chiral symmetry and related topics” Sapporo Winter School, Furano, January 9-11, 2003.
- [137] K. Fujikawa: “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 日 20 日.
- [138] 浜中 真志, “非可換空間上のゲージ理論とソリトン,” 量子化の幾何学 2, 早稲田大学, 2002 年 9 月.
- [139] 浜中 真志, “非可換ソリトンと可積分系,” KEK 理論研究会 2003 - 超弦理論のダイナミクス -, KEK, 2003 年 3 月.
- [140] 浜中 真志, “ソリトン理論の非可換化に向けて,” 日本物理学会 特別講演, 東北学院大学, 2003 年 3 月.
- [141] 岸本 功, “Developments in Moyal String Field Theory,” KEK 理論研究会 2003, 2003 年 3 月, KEK.
- [142] 丸 信人, “Supersymmetry and Extra Dimensions”, “素粒子物理学の進展”, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月.
- [143] 高柳 匡, “Strings on PP-Waves from Super Yang-Mills,” 場の量子論 2002, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 7 月.

招待講演