

1. 素粒子理論グループ

教授 青木 慎也、石橋 延幸、宇川 彰、金谷 和至

准教授 石塚 成人、藏増 嘉伸、吉江 友照

主任研究員 石井 理修

講師 谷口 裕介

助教 佐藤 勇二、八田 佳孝、毛利 健司

研究員 上田 悟、植田 高寛、浮田 尚哉、Nguyen Hoang Oanh、佐々木 健志、土井 琢身、中村 宜文、滑川 裕介、山崎 剛

大学院生 (13名)

研究生 (1名)

【人事異動】

上田悟氏と Nguyen Hoang Oanh 氏 (いずれも筑波大博士課程修了) が、計算科学研究センター研究員となった (2010年4月1日)。中村宜文氏 (ドイツ・レーゲンスブルク大学研究員) が素粒子理論グループに研究員として加わった (2010年10月1日)。石井理修氏 (東京大学特任研究員) が次世代スパコン戦略拠点主任研究員として着任した (2010年12月1日、勤務地：計算科学研究機構)。

井上貴史 研究員が日本大学生物資源科学部に助教として転出した (2010年3月31日)。山崎剛研究員が名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構 基礎理論研究センター特任助教として (2010年10月1日)、上田悟 研究員が高エネルギー加速器研究機構ポスドク研究員として (2010年12月1日)、中村宜文 研究員が理化学研究所・計算科学研究機構・連続系場の理論研究チーム研究員として (2011年3月1日)、植田高寛 研究員がドイツ・カールスルーエ工科大学 (KIT) ポスドク研究員として (2011年3月31日)、それぞれ転出した。

藏増嘉伸 准教授が、計算科学研究機構 (AICS) 主任研究員を兼任することとなった (2010年10月1日付)。

【研究活動】

素粒子理論グループにおいては、本年度も、格子場の理論の研究、超弦理論の研究、高エネルギー・ハドロン物理の研究の、3つの分野で活発な研究活動が行なわれた。

格子場の理論グループは、計算科学研究センターと密接な連携のもと、格子 QCD の大型シミュレーション研究を推進した。格子場の理論グループの研究者の大部分は、2006年7月に計算科学研究センターの次期並列計算機として PACS-CS が導入されたのを契機として新たに立ち上げられた研究グループ PACS-CS Collaboration に参加している。PACS-CS Collaboration では、計算科学研究センターの PACS-CS

や T2K-Tsukuba を主要な計算機資源として、QCD に関する近似のない物理的予言を行うことを目的として、3種類 (up, down, strange) の軽いクォークをその物理的質量 (物理点) において動的に扱う $N_f = 2+1$ QCD の大規模シミュレーションを進めた。また、up, down 間の質量差や電磁相互作用を取り入れる $N_f = 1+1+1$ QCD の研究や、格子 QCD による He 原子核の研究などにも着手した。一方、研究者の一部は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の IBM BlueGene/L と日立 SR-11000 を用いて、格子上での厳密なカイラルを持つオーバーラップ・フェルミオン作用を用いた研究を展開している JLQCD Collaboration にも参加して、研究を展開している。さらに、これらと並行して、核子間ポテンシャルの研究、ハドロン間相互作用の研究、核子形状因子の研究、有限温度・有限密度 QCD の研究、や、計算技術開発なども行った。さらに、格子 QCD 配位やその他のデータを共有する為のデータグリッド ILDG/JLDG の構築・整備を推進した。

次世代スーパーコンピュータ「京」を中核とした革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラの構築を主導するために、High Performance Computing Infrastructure (HPCI) 戦略プログラム」が文部科学省により推進されている。HPCI 戦略プログラムの 5 つの戦略分野の 1 つとして、青木が統括責任者を務める、分野 5 「物質と宇宙の起源と構造」が採択され、2010 年度にはその準備研究を行った。分野 5 の戦略プログラムを実施する機関は、青木が拠点長を勤める「計算基礎科学連携拠点」 (<http://www.jicfus.jp/jp/>) である。分野 5 の活動に関しては、<http://www.jicfus.jp/field5/jp/> を参照のこと。また、「京」を用いて計算機科学と計算科学分野の連携・融合を促す国際的な研究拠点として、神戸に計算科学研究機構 (AICS) が設立され、藏増が計算科学研究機構の主任研究員を兼任することとなった。

超弦理論の分野では弦の場の理論、超弦理論とゲージ理論との対応という 2 つの関連するテーマを中心として研究が行われた。最近この分野においては、D-ブレーンと呼ばれるソリトン解の研究を通じて、弦理論の非摂動的定式化としての弦の場の理論や、超弦理論とゲージ理論の双対性等のテーマが盛んに研究されている。特に近年、超弦理論とゲージ理論の関係が定量的なレベルまで明らかにされる等の大きな発展があった。この状況の下で、弦の場の理論と次元正則化、重力理論/ゲージ理論双対性とグルーオン散乱振幅等についての研究を行った。

高エネルギー・ハドロン物理の分野では、電子陽電子消滅の終状態における軟グルーオンの研究、ゲージ弦対応に基づく偏極深非弾性散乱の研究、ジェットからのエネルギーフローの研究、AdS/CFT 対応に基づくオデロンの研究、赤外発散を系統的に分離する手法に関する幾何学的解法の研究、仮想光子中の非偏極パートン分布の研究などを行った。

【1】 格子場の理論

(青木 慎也、宇川 彰、金谷 和至、石塚 成人、藏増 嘉伸、吉江 友照、石井 理修、谷口 裕介、上田 悟、浮田 尚哉、Nguyen Hoang Oanh、佐々木 健志、土井 琢身、中村 宜文、滑川 裕介、山崎 剛)

(1) PACS-CS Collaboration の活動

計算科学研究センターでは、平成 17 年度から 3 年計画で特別教育研究経費（拠点形成）を受けて開発・製作が進められてきた超並列クラスタ計算機 PACS-CS（計算ノード数 2560、ピーク演算性能 14.3Tflops）が平成 18 年 7 月から稼働を開始した。PACS-CS Collaboration は PACS-CS を主要な計算設備として格子 QCD の研究を行うことを目的とし、筑波大学物理学系メンバーを中心として組織されている。その目標は、domain-decomposed HMC (DDHMC) アルゴリズムと polynomial HMC (PHMC) アルゴリズムを組み合わせることによって 3 種類 (up、down、strange) の軽いクォークをその物理的質量（物理点）において動的に扱うシミュレーションを行い、QCD に関する近似のない物理的予言を行うことである。平成 18、19 年度は物理点へ向けて up-down クォーク質量を段階的に軽くすることによって物理量のクォーク質量依存性を調べることが主要課題であった。平成 20 年度より PACS-CS プロジェクトの目標である物理点でのシミュレーションへの取り組みを開始し、平成 21 年度 reweighting 法を用いた物理点直上でのシミュレーションに成功した。

次のステップとして平成 22 年度は 2 つの大きなテーマに取り組んだ。一つは 1+1+1 フレーバー QCD+QED シミュレーションの開発である。従来の格子 QCD 計算では、アルゴリズム的理由により up と down クォークの質量は人為的に等しくし (2+1 フレーバー)、電磁相互作用の効果も無視していた。これに対して、1+1+1 フレーバー QCD+QED シミュレーションでは自然界と同じように up、down、strange クォークの質量をすべて独立なものとして扱い、電磁相互作用の効果も同時に評価することを目指している。我々は、基本的戦略として reweighting 法によって電磁相互作用と up-down クォークの質量差を取り入れることを試みている。本年度は、格子上における電磁相互作用の定式化とそれに対する reweighting 法の適用テストを実施し、年度末から本格計算へと移行した。もう一つのテーマは物理点における体積効果の検証である。このために超並列クラスタ計算機 T2K-Tsukuba（計算ノード数 648、ピーク演算性能 94Tflops、平成 20 年 6 月稼働開始）を利用したより大きな空間サイズのシミュレーションを実行中である。PACS-CS を用いた物理点計算では、格子サイズは $32^3 \times 64$ であったが、T2K-Tsukuba を利用した計算では、格子サイズは 64^4 であり、空間体積は 8 倍になっている。図 1 はハドロン質量および π メソン、 K メソン崩壊定数の実験値との比較を表している。up-down クォーク質量、strange クォーク質量、格子間隔を決定するためのインプットは π メソン、 K メソン、 Ω バリオンの質量であり、今後 reweighting 法を用いたクォーク質量の物理点へのチューニングが必要であることがわかる。また、 ρ メソン質量と Δ バリオン質量の実験値からのズレが他のハドロンに比べて顕著であるが、それらは実験的には共鳴状態であることが知られており、その効果は図中の結果には取り入れられていない。その他のハドロンに関しては、実験値とのズレは最大で数%程度である。

これまで PACS-CS および T2K-Tsukuba を利用して生成された配位を用いて様々な物理量を計算することが可能であるが、特に興味深いものはハドロン共鳴状態の解析である。その深い理解の為には、ハドロン散乱位相を格子上の数値計算により定量的に評価し、実験値と比較することが非常に重要である。こ

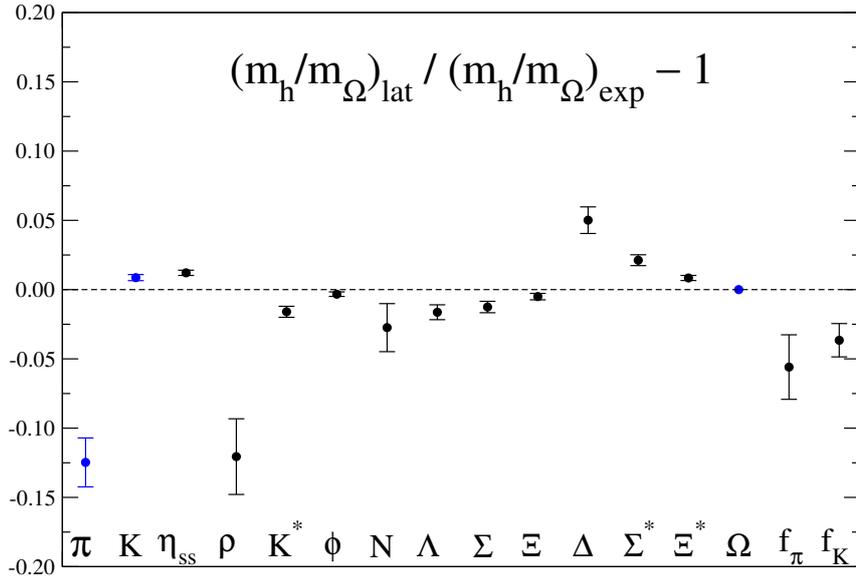


図 1: ハドロン質量および π メソン、 K メソン崩壊定数の実験値との比較。 Ω バリオンの質量で規格化されている。青丸は up-down クォーク質量、strange クォーク質量、格子間隔を決めるためのインプットを表す。

の研究では、 $J^{PC} = 1^{--}$ の共鳴状態である ρ 中間子の研究を、2 体 π の散乱位相から行った。 ρ 中間子の研究はこれまで、動的クォークとして u, d クォークのみを扱った研究しかなかった。この研究では更に s クォークの効果を取り入れ、より現実に近い状況で研究を行った。数値計算は、PACS-CS グループによって生成されたゲージ配位 ($a = 0.0907 \text{ fm}$, $L = 2.9 \text{ fm}$) の中で、クォーク質量: $m_\pi = 410 \text{ MeV}$ と $m_\pi = 300 \text{ MeV}$ の二つの質量のもとで行った。図.2 にそれぞれの質量での散乱位相 $k^3 / \tan \delta(k)$ を載せた。ここで、 k は π 中間子の散乱運動量である。これらの散乱位相から P -wave の有効長公式を用いて、それぞれの質量での $\rho\pi\pi$ 有効相互作用定数を求めた。図中の実線はその有効長公式の fitting line である。我々の得た相互作用定数の結果は、 $m_\pi = 410$ では $g = 5.53 \pm 0.38$ 、 $m_\pi = 300$ では $g = 5.98 \pm 0.56$ である。これらから相互作用定数のクォーク質量依存性が、非常に小さいことがわかった。また、これらの値から実際のクォーク質量 ($m_\pi = 140 \text{ MeV}$) での ρ 中間子の崩壊幅を評価すると、 $\Gamma_\rho = 130 \pm 18 \text{ MeV}$ と $\Gamma_\rho = 152 \pm 28 \text{ MeV}$ である。これらは実験値 150 MeV をよく再現している。これらの研究の暫定的成果は既に論文 3 に掲載されている。また最終研究成果は 2011 年度に論文掲載予定である。

また、格子 QCD による原子核の直接構成の研究は平成 21 年度にヘリウム原子核の束縛エネルギー計算 (論文 1) によって開始されたが、平成 22 年度は 2 核子系の計算を試みた。2 核子系にはスピン三重項チャンネル (重陽子) とスピン一重項チャンネルが存在するが、前者のみが束縛状態であり、その束縛エネルギーが 3 MeV 弱と極めて小さいことが大きな特徴である。そのためヘリウム原子核の直接計算よりも困難であることが予想される。我々は先ず計算コス

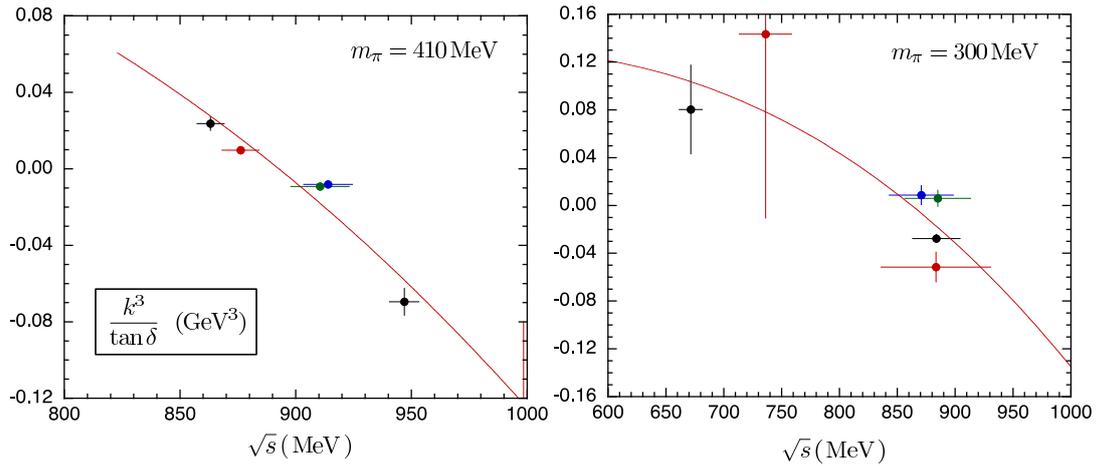


図 2: $I = 1$ チャンネルの 2 体 π 中間子系の散乱位相 $k^3/\tan \delta(k)$ 。横軸は重心系エネルギー。 $m_\pi = 410\text{MeV}$ (左図) および $m_\pi = 300\text{MeV}$ (右図) の場合。現実には $m_\pi = 140\text{MeV}$ 。

トを抑えるため、クエンチ近似で重いクォーク質量を用いた試験的計算を行った。散乱状態と束縛状態を識別するためには、2核子系のエネルギーと2個の自由核子エネルギーの差の体積依存性を調べる必要がある。格子の空間サイズ L を 24 から 96 まで変化させる計算を行った結果、束縛エネルギーは無限体積の極限でも有限の値として存在し、スピン三重項チャンネル (図3左) とスピン一重項チャンネル (図3右) の両者とも束縛状態であるという結論が得られた。もちろん、自然界ではスピン三重項チャンネルのみが束縛状態であり、スピン一重項チャンネルは束縛していないため、我々が見出したスピン一重項チャンネルの束縛状態は、クエンチ近似および重いクォーク質量で計算を行ったことによる効果だと考えている。今後真空偏極効果を取り入れ物理的クォーク質量に近づけていけば、スピン一重項チャンネルの束縛エネルギーは徐々に減少し、最終的には非束縛状態になるのではないかと推測し、現在クォーク質量依存性を調べている。

(2) クォーク質量の繰り込み定数

$N_f = 2+1$ QCD においてクォーク質量の繰り込み定数を Schrödinger functional formalism を用いて格子上の数値計算から非摂動的に求めた (論文 5,6、国際会議 8,9)。また、その結果を用いてクォーク質量の非摂動的な繰り込み群の流れを求めた。

(3) 格子 QCD によるバリオン間力の研究 (HAL QCD Collaboration)

2つの核子の間に働く力、核力は、中遠距離では引力、近距離では強い斥力になることが実験的に知られているが、この核力の性質、特に近距離での斥力 (斥力芯と呼ばれている) を理論的に導くことは、素粒子原子核物理に残された大問題の1つである。青木、石井らは、東京大学の初田との共同研究で、二核子系の波動関数から核子間のポテンシャルを導き出すという方法を用いて格子

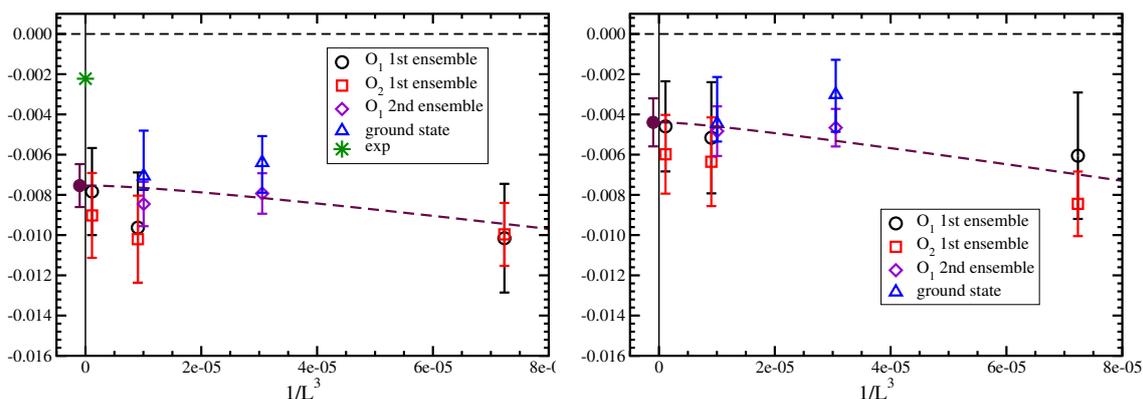


図 3: 2核子系エネルギーと2個の自由核子エネルギーの差の体積依存性。 L は格子の空間方向の長さ。白抜きシンボルは原子核相関関数における演算子の選び方の違いを表す。破線は空間体積無限大への外挿の様子。左図：スピン三重項チャンネル（重陽子）、右図：スピン一重項チャンネル。

QCDにより計算する方法を提案し、さまざまな研究を進めている。青木はポテンシャルの近距離での振舞を解析的に調べる方法を提案したが、今年度はその方法を3フレーバーに拡張し、チャンネルによっては斥力ではなく引力になるという結果を得た(論文8)。また、ポテンシャルのエネルギー依存性及び、角運動量 L 依存性を調べ、ポテンシャルのエネルギー及び角運動量依存性が小さいことを示した(論文18)。

HAL QCD Collaborationは、格子QCDを用いてフレーバーSU(3)対称極限な世界におけるバリオン間相互作用を調べた。彼らはS波状態に注目し、最近に開発された方法を用いて、必要十分な6つのポテンシャルを導出した(論文7)。フレーバー1重項チャンネルが他と異なり短距離で引力であり、Hダイバリオン状態が存在する可能性があるため、さらに研究を進めた。体積を大きくするなどした計算を行なった結果、フレーバーSU(3)対称極限ではHダイバリオンが存在することを示した(論文10、図4)。

さらに、sクォークがu,dより重くなり、フレーバーSU(3)が破れた場合に、ポテンシャルを計算する方法を検討し、実際に数値計算を実行した。その結果、粒子基底で書いた3x3のポテンシャル行列が得られた(論文26,27、発表24,25)。

バリオン間三体力の研究

近年、原子核や中性子星などの諸性質を理解する上で、三体力の果たす役割の重要性が指摘されている。土井らは、格子QCDによる三体力の決定を目指し、今年度は三体系内での有効二体相互作用に着目した計算を行った。図5は、PACS-CS Collaborationによって生成されたパイオン質量が700MeVに対応する2+1フレーバーゲージ配位を使って計算された、三重水素原子核中の三

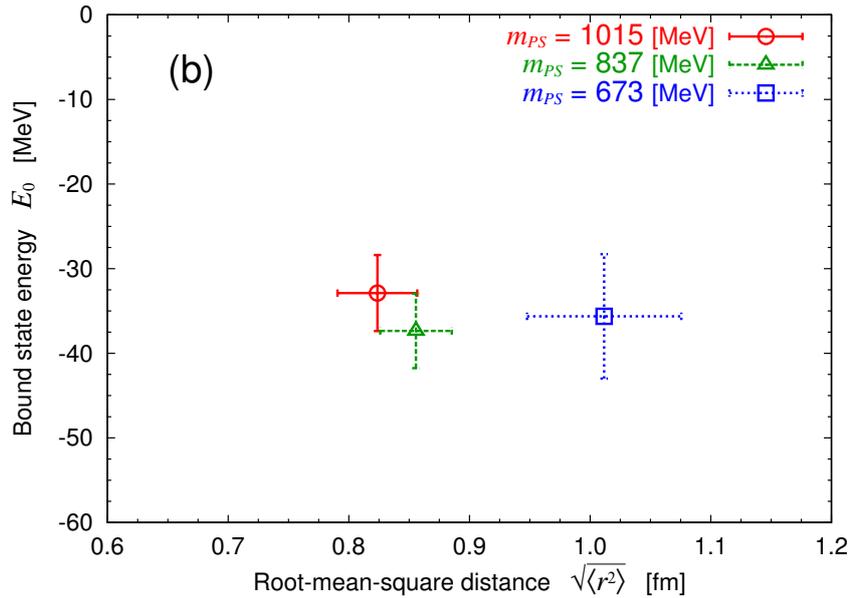


図 4: 格子 QCD によるバリオン間力の研究。H ダイバリオンの束縛エネルギー (縦軸、MeV 単位) と 2 バリオン間の平均距離 (横軸、fm 単位) のパイ中間子質量依存性。

体相互作用である。ここでは 3 つの核子が直線上に並んだ配位での相互作用を計算している。三体相互作用に近距離での斥力の兆候が見えており、興味深い結果である (論文 23、発表 19,21,22,8,9,10)。

(4) 厳密なカイラル対称性を持つクォーク作用を用いた研究 (JLQCD Collaboration)

JLQCD Collaboration は、格子上で厳密なカイラル対称性を持つオーバーラップ・フェルミオンを力学的クォーク作用に用いた $N_f = 2$ 格子 QCD と $N_f = 2+1$ 格子 QCD でゲージ配位を生成し、それを用いて、パイ中間子の形状因子の計算 (論文 16)、カイラル凝縮の決定 (論文 9)、核子中のストレンジクォークの成分量の決定 (論文 17)、パイ中間子の 2 光子への崩壊過程の研究 (論文 17) などを行った。また、将来に向けて、有限温度相転移に対するトポロジーを固定した影響を調べた (論文 14)。

(5) 有限温度・有限密度 QCD の研究 (WHOT-QCD Collaboration)

金谷、青木らは、東京大学初田教授、新潟大学江尻准教授、広島大学梅田助教らとの共同研究で、Wilson 型クォークによる有限温度・密度 QCD の研究を引き続き推進した。

固定格子間隔アプローチと T -integral 法による状態方程式の研究

平成 20 年度に開発した T -integral 法に基づく固定格子間隔アプローチは、様々な温度のシミュレーションを、一つの格子スケールで実行する方法で、計算時間を大幅に抑えつつ、精度の高い有限温度計算を遂行する可能性を拓いている。平成 20 年度にクエンチ近似による試験研究で方法としての有効性を確認し、平成 21 年度に現実的な $N_f = 2+1$ でのシミュレーションを、u, d クォー

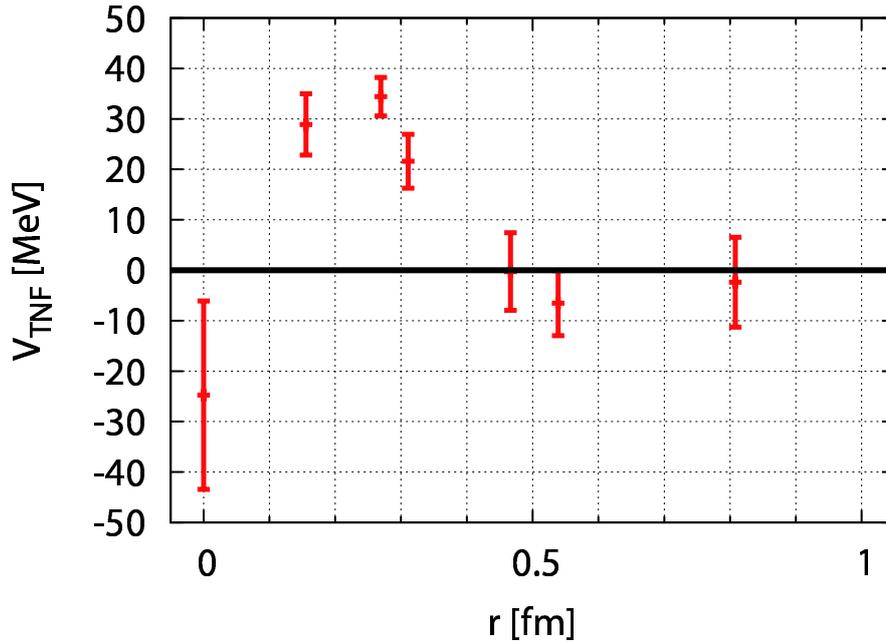


図 5: 三重水素原子核中の三体力ポテンシャル。3核子が直線上に等距離で並んだ場合で、横軸は中心の核子から端の核子までの距離。

ク質量が現実より重い点で開始した。固定格子間隔アプローチでは、既存のゼロ温度配位を活用できるメリットがある。CP-PACS+JLQCDグループによる $N_f = 2+1$ QCD の温度ゼロでの研究結果と公開されているゼロ温度ゲージ配位を利用して、そのシミュレーション・ポイントで有限温度シミュレーションを実行し、ウィルソン型クォークとして初めて、 $N_f = 2+1$ の状態方程式の計算に成功した (図6、論文 31,33,38、国際会議発表 31,36)。

有効ポテンシャルによる QCD 有限温度・有限密度相転移の研究

QGP 有限温度・有限密度相転移の次数を判定するうえで、観測量のヒストグラムはもっとも直感的な情報を含んでいる。我々は、測定が容易なプラケットのヒストグラムから有効ポテンシャルを定義し、その振る舞いから相転移の次数を研究する方法を提案した。そしてその応用として、SU(3) 純ゲージ理論のシミュレーションとホッピングパラメータ展開により、クォークが重い領域での QCD の有限温度相構造を研究した。reweighting 法から導かれる有効ポテンシャルの微分の簡単な振る舞いを利用して、様々なゲージ結合定数 β におけるシミュレーション結果を組み合わせ、プラケット期待値の広い範囲で有効ポテンシャルの微分を評価した (図7左)。それに基づき、有効ポテンシャルを計算して、純ゲージ理論の1次相転移が、クォークの効果によりクロスオーバーに変わる臨界点の位置を評価した (図7右、論文 37、国際会議発表 30,33,37,38)。

現在、この研究などに、化学ポテンシャルに関する Taylor 展開の手法を組み合わせ、有限密度における QCD 相構造の研究を進めている (論文 32,35)。

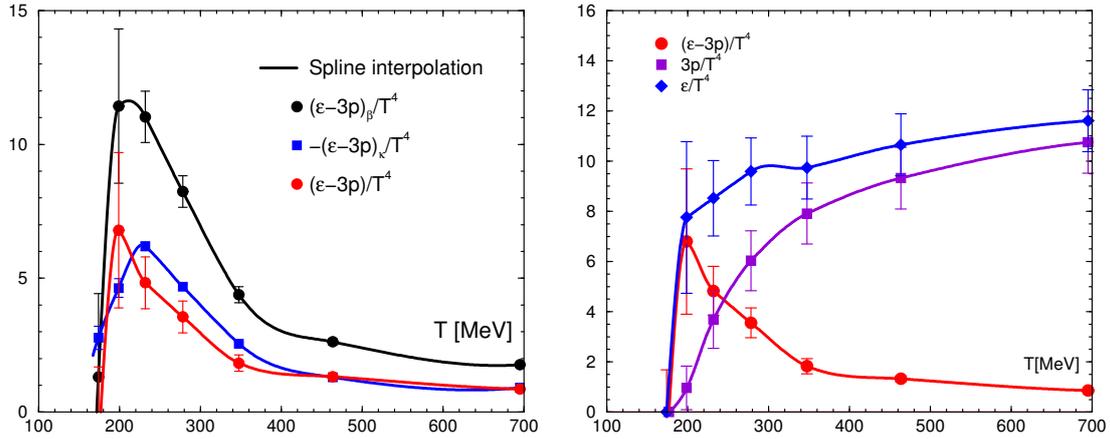


図 6: 固定格子間隔アプローチによる、ウィルソン型クォークを用いた $N_f = 2 + 1$ QCD の状態方程式。u, d クォークは現実より重くなっている。左図: トレース・アノマリー (赤丸)。 $T \sim 170$ MeV が、クォーク・グルオン・プラズマ相への相転移温度となる。ゲージ部分 (黒丸) とクォーク部分 (青四角) の間に大きなキャンセレーションがある。右図: トレース・アノマリー (赤丸)、圧力 (紫四角)、エネルギー密度 (青菱形) の温度依存性。

格子上の中間子スペクトル関数の研究

チャーモニウムなどのスペクトル関数の研究は、クォーク・グルオン・プラズマ (QGP) の性質を研究する上で重要な情報を与えている。これまで格子上では、最大エントロピー法を用いた計算が主に行われてきたが、仮想モデルの選び方に由来する結果の不定性の問題や、有限の格子上では離散的なはずのスペクトル関数が連続関数になってしまう原理的な欠陥があり、最終的なスペクトル関数の信頼性が問題となっている。我々は、対角化の方法を用いて、離散的なスペクトル関数を評価する方法を開発し、その有効性を検証した。自由 Wilson クォークの場合に、中間子伝搬関数から対角化の方法を使って得られるスペクトル関数と、スペクトル関数の解析解を比較し、対角化の方法で用いる規定の数を十分大きくすることで、解析解が再現されることを確認した。他方、時間方向の格子サイズや数値精度の限界による制限も明らかにした。次に、クエンチ近似 QCD を研究し、基底状態に関しては、最大エントロピー法によるスペクトル関数のピークの位置とピーク周りの面積を、対角化の方法でよく再現することを示した。他方、第一励起状態に関しては、対角化の方法の方が実験値に近い結果を導くことを示した。有限温度では、格子サイズの制限により明確な結論は得られなかったが、少なくとも臨界温度の 1.4 倍の温度まで、 J/ψ や η_c が消失する兆候は確認できなかった (論文 30, 34、国際会議発表 29,32,35)。

重いクォーク間の自由エネルギーと遮蔽質量の研究

ゲージ不変なポリアコフ ラインを時間反転と荷電反転とでそれぞれ偶部分と奇部分に分類し、それらの相関関数から、電氣的遮蔽と磁氣的遮蔽をゲージ不変に定義する方法を提案した。実際に、 $N_f = 2$ QCD の場合に相関関数の長

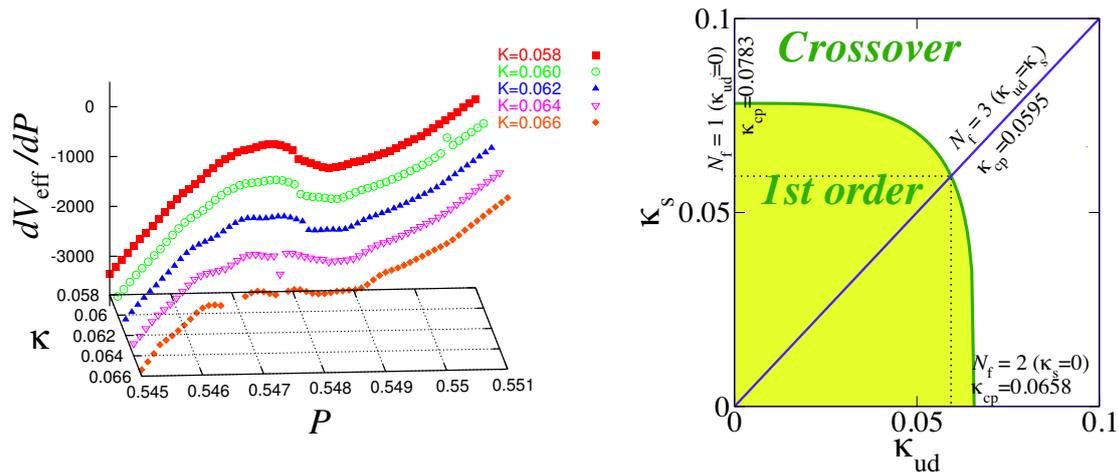


図 7: 有効ポテンシャルによる、重クォーク領域における QCD 有限温度相転移の次数に関する研究。左図: プラケット有効ポテンシャルの微分。右図: 重クォーク領域における $N_f = 2+1$ QCD の有限温度相転移次数のクォーク質量依存性。ホッピングパラメータ κ は、重クォーク領域ではクォーク質量の逆数に比例する。1 次相転移領域とクロスオーバー領域の境界が、2 次相転移の臨界点となる。

距離での遮蔽を調べ、電気的遮蔽質量と磁氣的遮蔽質量を計算した。電気的遮蔽質量と磁氣的遮蔽質量の比（スクリーニング比）が有効模型や超対称模型と同様な振る舞いをしていることがわかった（論文 29）。

また、固定格子間隔アプローチで生成された $N_f = 2+1$ QCD の有限温度ゲージ配位上で、重いクォーク間の自由エネルギーを研究した。極めて高温でも、十分短距離では、自由エネルギーが温度ゼロでの重いクォーク間ポテンシャルに一致することを示した。これは、温度効果は長距離のもので、十分短距離では高温相でも温度効果が無いという、理論的予想と一致しているが、従来の研究では、自由エネルギーの原点が温度毎に異なるくりこみを受けるために、この理論的予想を使って、短距離で一致するように手で調整されていた。固定格子間隔アプローチでは、くりこみが温度に依らないためにそうした調整は不要であり、理論的予想を初めて確認することに成功した。また、長距離では、クォークの閉じ込めがやぶれて、自由エネルギーが一定値になる様子も確認された。 $N_f = 0$ の結果と比べると、 $N_f = 2$ および $2+1$ の結果は有意に大きく、軽いクォークが大きな影響を持っていることが示された（論文 36,39）。

(6) ILDG/JLDG の構築・運用に係わる活動

格子 QCD シミュレーションの基礎データである配位を国際規模で共有する International Lattice Data Grid (ILDG) (論文 41) プロジェクトに参画し、システムの構築・改良に携わった。ILDG に投入する配位のメタデータを半自動的に収集するシステムの構築プロジェクト (Metadata Capture Project) をエンジンバラ大学と共同で推進した。また、国内の格子 QCD 研究者のデータグリッド Japan Lattice Data Grid (JLDG) の改良に携わった。

【2】 超弦理論

(石橋 延幸、毛利 健司、佐藤 勇二)

(1) 弦の場の理論と次元正則化

弦の理論は散乱振幅が摂動論を用いて有限に計算できることが知られているが、発散は相殺するのであり、最初からないわけではない。従って、点粒子の場の理論と同様に、うまい正則化の方法を考えることは重要である。特に超弦の場の理論においてはコンタクトタームの問題と呼ばれる問題があり、tree 振幅でさえ見かけ上発散してしまうため、正則化を与えなければ定義することが出来ない。また、D-ブレーンの影響等の散乱振幅とは異なる量を計算する際には、弦の理論のうまい正則化の方法を与えることが必要不可欠になる。

昨年度までの研究で、石橋は馬場・村上とともに、弦理論に次元正則化を適用することが出来ることを見出した。石橋は村上（岡山光量子研）とともに、次元正則化を用いて光円錐ゲージの超弦の場の理論の散乱振幅を計算し、全ての外線が (NS,NS) セクターに属する場合の tree 振幅について、コンタクトタームの問題を解決できることを示した（論文 42）。

以上の結果を、外線が Ramond セクターに属する場合に拡張するためには、世界面上で spin field と呼ばれる場を構築する必要がある。弦理論を次元正則化すると世界面上の縦波方向の自由度が相互作用を持つため、spin field を定義することが難しくなる。石橋は村上（岡山光量子研）とともに、縦波方向を自由場で記述する方法を開発し、それを用いて、次元正則化において Ramond セクターを扱うことが可能であることを示した（論文 43）。また、これらの結果を元に、次元正則化を用いれば全ての tree 振幅についてコンタクトタームの問題を解決できることを示した（論文 46）。

石橋は馬場・村上（岡山光量子研）とともに、次元正則化のループ振幅への応用について議論した（論文 44）。

(2) 重力理論／ゲージ理論双対性とグルーオン散乱振幅

重力理論とゲージ理論の双対性により、強結合における 4 次元超対称ゲージ理論の散乱振幅が、反ドジッター時空中の光的境界を持つ極小曲面の面積で与えられることが知られてる。

佐藤は初田（京都大基礎物理学研究所）、伊藤（東京工業大）、酒井（慶應義塾大学）と共に、こうした極小曲面を記述する積分方程式が（運動量が 3 次元空間に制限される場合）、homogeneous sine-Gordon 模型と呼ばれる 2 次元可解模型の有限サイズ効果の研究に用いられる熱力学的ベータ方程式と一致していることを明らかにした（論文 48）。

さらに、このような 4 次元超対称ゲージ理論と 2 次元可解模型の対応に基づき、パラフェルミオン共形場理論の摂動を用いて、強結合 6 点散乱振幅に対する運動量の複比が等しくなる運動量配位周りの解析的な展開式を導いた（論文 49）。

この展開式ではパラメタの一部は数値計算の結果を用いて評価されたが、佐藤は共同研究者と共に、 g -関数（境界エントロピー）とスペクトルパラメタにより拡張された運動量の複比（ Y -関数）の関係を用いると、完全に解析的な方法で展開式が得られることを示した。また、運動量が2次元空間に制限される場合に、このような方法により10点散乱振幅の解析的な展開式を具体的に導いた。この結果を2ループの摂動計算と比べることにより、適当に規格化された振幅の展開式が、強結合側と摂動論側で非常に近いことも明らかにした。この結果は、collinear 極限や系のもつ離散対称性の制限が非常に強いことを示唆している（論文50）。

【3】 高エネルギー・ハドロン物理

(八田佳孝、植田高寛)

(1) 電子陽電子衝突における光子生成断面積の計算

LEP での電子陽電子消滅実験において、軟光子の生成断面積に異常があることが DELPHI コラボレーションによって近年報告された。生成された光子の数が終状態ハドロンからの Bremsstrahlung から予想される量より数倍多いのである。八田と植田は AdS/CFT を用いて $N=4$ 超対称ヤンミルズ理論において光子断面積を厳密に計算し、Bremsstrahlung とは異なる、非摂動的で新しい光子生成の起源を示した（論文52）。

(2) 強結合ゲージ理論における放射について

八田らは2本の連続した論文53,54において強結合 $N=4$ 超対称ヤンミルズ理論における放射 (radiation) の問題を扱った。AdS 空間で運動するストリングから放出されるエネルギーの空間分布は、超重力近似では古典力学のように光速で伝わり、空間的な幅 (broadening) を持たない。これは量子力学や UV/IR 対応と一見矛盾する結果に見える。八田らはストリングのミンコフスキー境界近傍の部分だけが境界でのエネルギーに寄与することを指摘してこの問題を解決し、ストリングの効果（超重力近似を超えた効果）によって broadening が回復すると議論した（論文53）。

また、任意の加速度運動をする重いクォークに双対なストリングからの放射のエネルギー密度分布を超重力近似の枠内で厳密に計算し、すべての寄与がミンコフスキー空間におかれたストリングの端点からくることを示した（論文54）。

(3) 仮想光子中の非偏極パートン分布におけるクォーク質量効果の再足し上げ

光子は量子効果を通じてハドロン的な振る舞いをするのが可能であり、この意味において光子中のパートン分布関数が定義される。仮想光子中のパートン分布関数は、摂動論的 QCD によって評価することができる。植田らは、仮想光子中の非偏極パートン分布に対するクォーク質量の効果を考えて時に現れる対数項の再足し上げについて議論した（論文55）。

《論文》

1. PACS-CS Collaboration: T. Yamazaki, Y. Kuramashi, A. Ukawa, Helium Nuclei in Quenched Lattice QCD, Phys. Rev. D 81, No. 11 (2010) ref. 111504(R), pp.1-4
2. Yoshinobu Kuramashi, Progress in Lattice QCD, Proceeding of Science (ICHEP 2010) 545.
3. Naruhito Ishizuka for PACS-CS Collaboration, Calculation of ρ meson decay width from the PACS-CS configurations, Proceeding of Science (LATTICE2010) 108.
4. Takeshi Yamazaki, Calculation of Helium nuclei in quenched lattice QCD, Proceeding of Science (LATTICE2010) 021.
5. Y. Taniguchi for PACS-CS Collaboration, Non-perturbative renormalization of quark mass in $N_f = 2 + 1$ QCD with the Schroedinger functional scheme, PoS **LATTICE2010** (2010) 242
6. Y. Taniguchi for PACS-CS collaboration, Non-perturbative renormalization of quark mass in $N_f=2+1$ QCD with the Schroedinger functional scheme, JHEP **1008** (2010) 101, 1-25
7. T. Inoue, N. Ishii, S. Aoki, T. Doi, T. Hatsuda, Y. Ikeda, K. Murano, H. Nemura, K. Sasaki (HAL QCD collaboration), Baryon-Baryon Interactions in the Flavor SU(3) Limit from Full QCD Simulations on the Lattice, Prog. Theor. Phys. 124 (2010) 591-603.
8. Sinya Aoki, Janos Balog, Peter Weisz, Operator product expansion and the short distance behavior of 3-flavor baryon potentials, JHEP09(2010)083.
9. H. Fukaya, S. Aoki, T.W. Chiu, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi, N. Yamada (JLQCD and TWQCD collaborations), Determination of the chiral condensate from QCD Dirac spectrum on the lattice, Phys. Rev. D83 (2011) 074501.
10. Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki (HAL QCD Collaboration), Bound H-dibaryon in Flavor SU(3) Limit of Lattice QCD, Phys. Rev. Lett. 106(2011) 162002.
11. S. Aoki (for HAL QCD Collaboration), Baryon Interactions from Lattice QCD, AIP Conference Proceedings Vol. 1235 (2010) 16-22.
12. S. Aoki (for HAL QCD Collaboration), Baryon-Baryon interactions from lattice QCD, Chinese Physics C 34 No.9 (2010) 1236-1240.

13. Sinya Aoki, Lattice QCD and Nuclear Physics, to be published in LES HOUCHEs SUMMER SCHOOL: SESSION 93: MODERN PERSPECTIVES IN LATTICE QCD: QUANTUM FIELD THEORY AND HIGH PERFORMANCE COMPUTING, 3-28 Aug 2009, Les Houches, France.
14. JLQCD Collaboration: Guido Cossu, Sinya Aoki, Shoji Hashimoto, Takashi Kaneko, Hideo Matsufuru, Jun-ichi Noaki, Eigo Shintani, Finite temperature QCD at fixed Q with overlap fermions, PoS (Lattice 2010) 174.
15. Sinya Aoki, Recent progress on nuclear potentials from lattice QCD, PoS(ICHEP2010) 362.
16. JLQCD Collaboration: T. Kaneko, S. Aoki, G. Cossu, H. Fukaya, S. Hashimoto, J. Noaki, T. Onogi, Light meson form factors in $N_f = 2 + 1$ QCD with dynamical overlap quarks, PoS (Lattice2010) 146.
17. JLQCD Collaboration: K. Takeda, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, T. Onogi, N. Yamada, Nucleon strange quark content in 2+1-flavor QCD, PoS (Lattice2010) 160.
18. Keiko Murano, Noriyoshi Ishii, Sinya Aoki, Tetsuo Hatsuda, Non-locality of the nucleon-nucleon potential from Lattice QCD, PoS (Lattice2010) 150.
19. E. Shintani, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Onogi, N. Yamada, Two-photon decay of π^0 from two-flavor lattice QCD, PoS(Lattice 2010)159.
20. Noriyoshi Ishii, Lambda-Nucleon and Nucleon-Nucleon Interactions on the Lattice, Few-Body Systems 49, 269-281 (2011).
21. T. Blum, R. Zhou, T. Doi, M. Hayakawa, T. Izubuchi, S. Uno and N. Yamada, Electromagnetic mass splittings of the low lying hadrons and quark masses from 2+1 flavor lattice QCD+QED, Phys. Rev. D 82, (2010) ref. 094508 pp.1-47
22. A. Li, A. Alexandru, Y. Chen, T. Doi, S.-J. Dong, T. Draper, M. Gong, A. Hasenfratz, I. Horvath, F.-X. Lee, K.-F. Liu, N. Mathur, T. Streuer and J.-B. Zhang, Overlap Valence on 2+1 Flavor Domain Wall Fermion Configurations with Deflation and Low-mode Substitution, Phys. Rev. D 82, (2010) ref. 114501 pp.1-19
23. T. Doi for HAL QCD Collaboration, The study of the Three Nucleon Force in full QCD Lattice calculations, Proceeding of Science (Lattice 2010) 136.
24. T. Doi, M. Deka, S.-J. Dong, T. Draper, K.-F. Liu, D. Mankame, N. Mathur and T. Streuer, Nucleon strangeness form factors and moments of PDF, Proceeding. of 12th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU 2010), (4pages), arXiv:1010.2834 [hep-lat]

25. N. Mathur, A. Alexandru, Y. Chen, T. Doi, S.-J. Dong, T. Draper, M. Gong, F.-X. Lee, A. Li, K.-F. Liu, T. Streuer, J.-B. Zhang, Meson spectra from overlap fermion on domain wall gauge configurations, *Proceeding of Science (Lattice 2010)* 114
26. K. Sasaki for HAL QCD Collaboration, Lattice QCD study of baryon-baryon interactions in the $(S,I)=(-2,0)$ system using the coupled-channel formalism, *Proceeding of Science (Lattice 2010)* 157.
27. K. Sasaki for HAL QCD Collaboration, Coupled Channel Approach to $(S,I) = (-2,0)$ Baryon-Baryon Interactions from Lattice QCD, *Proceedings of the 21st European Conference on Few-Body Problems, Few-Body Syst Vol.50 (2011)* pp. 347-349.
28. K. Takeda, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, T. Onogi and N. Yamada [JLQCD collaboration], Nucleon strange quark content in $2 + 1$ -flavor QCD, *Proceeding of Science (LAT2010)* 160.
29. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, N. Ukita and T. Umeda, Electric and Magnetic Screening Masses at Finite Temperature from Generalized Polyakov-Line Correlations in Two-flavor Lattice QCD, *Phys. Rev. D* 81, No.9 (2010) ref.091501(R), pp.1-5.
30. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, K. Kanaya, H. Ohno and T. Umeda, Heavy-quark free energy at finite temperature with $2 + 1$ flavors of improved Wilson quarks in fixed scale approach, *PoS (LATTICE 2009) (2010)* ref.165, pp.1-7.
31. K. Kanaya, S. Aoki, H. Ohno, T. Umeda, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, Y. Maezawa, Towards the equation of state in $2+1$ flavor QCD with improved Wilson quarks in the fixed scale approach, *PoS (LATTICE 2009) (2010)* ref.190, pp.1-7.
32. S. Ejiri, Y. Maezawa, N. Ukita, S. Aoki, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, T. Umeda, Equation of State and Heavy-Quark Free Energy at Finite Temperature and Density in Two Flavor Lattice QCD with Wilson Quark Action , *Phys. Rev. D* 82, No.1 (2010) ref.014508, pp.1-35.
33. K. Kanaya, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, Y. Maezawa, H. Ohno, H. Saito, N. Ukita, T. Umeda, QCD thermodynamics at zero and finite densities with improved Wilson quarks, *Progr. Theor. Phys. Suppl.* , No.186 (2010) 556-562.
34. Kazuyuki Kanaya, Finite Temperature QCD on the Lattice – Status 2010, *PoS(LATTICE 2010) (2011)* ref.012, pp.1-21.

35. S. Ejiri, Y. Nakagawa, S. Aoki, K. Kanaya, H. Ohno, H. Saito, T. Hatsuda, Y. Maezawa, T. Umeda, Scaling behavior of chiral phase transition in two-flavor QCD with improved Wilson quarks at finite density, PoS(LATTICE 2010) (2011) ref.181, pp.1-7.
36. H. Ohno, S. Aoki, S. Ejiri, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Saito, T. Umeda, An application of the variational analysis to calculate the meson spectral functions, PoS(LATTICE 2010) (2011) ref.209, pp.1-7.
37. H. Saito, S. Aoki, K. Kanaya, H. Ohno, S. Ejiri, T. Hatsuda, Y. Maezawa, T. Umeda, The order of the deconfinement phase transition in a heavy quark mass region, PoS(LATTICE 2010) (2011) ref.212, pp.1-7.
38. T. Umeda, S. Aoki, K. Kanaya, H. Ohno, S. Ejiri, T. Hatsuda, Y. Maezawa, EOS in 2+1 flavor QCD with improved Wilson quarks by the fixed-scale approach, PoS(LATTICE 2010) (2011) ref.218, pp.1-7.
39. H. Ohno, S. Aoki, S. Ejiri, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Saito and T. Umeda, Charmonium spectral functions with the variational method in zero and finite temperature lattice QCD, Phys. Rev. D submitted.
40. Kazuyuki Kanaya, Lattice results on the phase structure and equation of state in QCD at finite temperature, AIP Conference Proceedings 1343 (2011) 57-62.
41. Mark G. Beckett, Paul Coddington, Balint Joo, Chris M. Maynard, Dirk Pleiter, Osamu Tatebe, Tomoteru Yoshie, Building the International Lattice Data Grid, Comp. Phys. Comm. 182 (2011) 1208-1214
42. Y. Baba, N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone gauge superstring field theory and dimensional regularization II, JHEP **1008** (2010) 102.
43. N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone Gauge NSR Strings in Noncritical Dimensions II – Ramond Sector, JHEP **1001** (2011) 008.
44. K. Murakami and N. Ishibashi, Amplitudes in Noncritical Dimensions and Dimensional Regularization, UTHEP622, to be published in PROGRESS OF THEORETICAL PHYSICS SUPPLEMENT,
45. N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone Gauge String Field Theory and Dimensional Regularization, UTHEP621, to be published in PROGRESS OF THEORETICAL PHYSICS SUPPLEMENT.
46. N. Ishibashi and K. Murakami, Spacetime Fermions in Light-cone Gauge Superstring Field Theory and Dimensional Regularization, UTHEP624.

47. K. Sakai and Y. Satoh, Constant mean curvature surfaces in AdS_3 , JHEP **1003** (2010) 077.
48. Y. Hatsuda, K. Ito, K. Sakai and Y. Satoh, Thermodynamic Bethe ansatz equations for minimal surfaces in AdS_3 , JHEP **1004** (2010) 108.
49. Y. Hatsuda, K. Ito, K. Sakai and Y. Satoh, Six-point gluon scattering amplitudes from Z_4 -symmetric integrable model, JHEP **1009** (2010) 064.
50. Y. Hatsuda, K. Ito, K. Sakai and Y. Satoh, g-functions and gluon scattering amplitudes at strong coupling, JHEP **1104** (2011) 100.
51. Yuji Satoh, Gauge/string duality and thermodynamic Bethe ansatz equations, 京都大学数理解析研究所講究録別冊、in press.
52. Y. Hatta and T. Ueda, Soft photon anomaly and gauge/string duality, Nucl. Phys. B 837, (2010) pp.22-39.
53. Y. Hatta, E. Iancu, A.H. Mueller, and D.N. Triantafyllopoulos, Aspects of the UV/IR correspondence: energy broadening and string fluctuations, JHEP 1102 (2011) ref.065, pp.1-47.
54. Y. Hatta, E. Iancu, A.H. Mueller, D.N. Triantafyllopoulos, Radiation by a heavy quark in N=4 SYM at strong coupling, Nucl. Phys. B, in press, arXiv:1102.0232 [hep-th].
55. Y. Kitadono, R. Sahara, T. Uematsu and T. Ueda, Resummation of large logarithms in the heavy-quark effects on the parton distributions inside the virtual photon, Eur. Phys. J. C 70, No. 4 (2010) pp. 999-1007.
56. T. Kaneko and T. Ueda, Sector decomposition via computational geometry, Proceedings of Science (ACAT 2010) ref. 082, pp. 1-7.

〈著書・総説等〉

1. 山田信博監修、「科学の芽」賞熟考委員会編（金谷 和至 他 著），『もっと知りたい！「科学の芽」の世界 part 2』，筑波大学出版会 (2010)

〈学位論文〉

[博士論文]

1. 大野 浩史
「A variational study on charmonium properties at finite temperature in lattice QCD（格子 QCD における対角化法を用いた有限温度下でのチャーモニウムの性質に関する研究）」

2. 武田 光平

「Nucleon strange quark content from lattice QCD with exact chiral symmetry (厳密なカイラル対称性を持つ格子 QCD からの核子ストレンジクォーク含有量)」

[修士論文]

1. 岩井 雄大

「弦理論を用いた強結合超対称ゲージ理論における散乱振幅の解析」

2. 馬場 隆行

「局所化の方法を用いた N=2 超対称ゲージ理論の低エネルギー有効作用の計算」

〈非常勤講師・集中講義〉

1. 青木 慎也 「Intorduction to lattice QCD and applications to nuclear physcs」, 北陸信越地区素粒子論グループ合宿研究会、2010 年 5 月 22 日

2. 青木 慎也 「非専門家向けの格子 QCD 入門：数値シミュレーションを中心として」, 新学術領域研究「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」レクチャーシリーズ第二回、京都大学 基礎物理学研究所、京都、2010 年 12 月 15-16 日

3. 青木 慎也 「格子ゲージ理論の基礎と応用」, 東京大学 大学院総合文化研究科客員教授、2010 年 4 月～2012 年 3 月 (2 年間)。

4. 青木 慎也 「Baryon Interaction on the lattice」, Asian School on Lattice Field Theory 2011 (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Mar.14-25, 2011)

5. 金谷 和至 「Finite Temperature QCD on the Lattice」, Asian School on Lattice Field Theory 2011 (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Mar.14-25, 2011)

6. 八田 佳孝 「Small-x physics in QCD and gauge/string duality」, 東京大学大学院理学研究科 2010 年 10 月 27-29 日

〈研究成果発表 (講演)〉

[国際会議]

1. 藏増 嘉伸 「Progress in Lattice QCD」 (招待講演),
35th International Conference on High Energy Physics (Palais des Congrès,
Paris, France, July 22-28, 2010)
2. 藏増 嘉伸 「Physical Point Simulation in 2+1 Flavor Lattice QCD」 (招待講演),
CERN Theory Institute "Future Directions in Lattice Gauge Theory" (CERN,
Geneva, Switzerland, July 19-Aug. 10, 2010)
3. 藏増 嘉伸 「Recent Results from PACS-CS Collaboration」 (招待講演),
Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiment" (Mishima,
Japan, Nov. 4-6, 2010)
4. 藏増 嘉伸 「Application of Block Krylov Subspace Algorithms to the Wilson-Dirac Equation with Multiple Right-Hand Sides in Lattice QCD」 (招待講演),
Sixth Workshop on QCD Numerical Analysis (Boston University, Boston,
USA, Sep. 8-10, 2010)
5. 石塚 成人 「Calculation of rho meson decay width from the PACS-CS configurations」,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory, Lattice 2010.
(the Tanka Village Resort, Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
6. 山崎 剛 「Calculation of Helium Nuclei in Quenched Lattice QCD」 (招待講演),
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory, Lattice 2010.
(the Tanka Village Resort, Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
7. 滑川 裕介 「Charm quark system on the physical point in 2+1 flavor lattice QCD」,
Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiment" (Mishima,
Japan, Nov. 4-6, 2010)
8. Y. Taniguchi 「Non-perturbative renormalization of quark mass in $N_f = 2 + 1$ QCD with the Schroedinger functional scheme」,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory, Tanka Village,
Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010
9. Y. Taniguchi 「Non-perturbative renormalization of quark mass in $N_f = 2 + 1$ QCD with the Schroedinger functional scheme」,
国際シンポジウム 「From Quarks to Supernovae」, 静岡県賀茂郡東伊豆町
奈良本, Nov. 28-30, 2010
10. 青木 慎也 「Neutron electric dipole moment from lattice QCD」 (招待講演),
International Workshop on Particle's EDM and Implications, (Shanghai, China,
June 14-16, 2010.)

11. 青木 慎也 「Hadron-Hadron Interactions from lattice QCD」 (招待講演),
Elba XI Workshop “Electron-Nucleus Scattering XI”, (Elba, Italy, June 21-25,
2010.)
12. 青木 慎也 「Recent progress on nuclear potentials from lattice QCD」 (招待講演),
35th International Conference on High Energy Physics(ICHEP), (July 22-28,
2010, Paris, France.)
13. 青木 慎也 「Extraction of hadron interactions from lattice QCD」 (招待講演),
CERN Theory Institute “Future directions in lattice gauge theory - LGT10 “,
(19 July - 13 August, 2010, CERN, Switzerland.)
14. 青木 慎也 「Nuclear Force from lattice QCD and its extensions」 (招待講演),
MLL-colloquium, (October 21, 2010, TU, Munich, Germany)
15. 青木 慎也 「Extraction of hadron interactions from lattice QCD」 (招待講演),
Japanese-German Seminar 2010 ”Lattice QCD confronts experiments” (4-6,
November, 2010, Mishima, Japan)
16. 青木 慎也 「From Quarks to Supernovae」 (招待講演),
International Symposium ”From Quarks to Supernovae”, (28-30, November,
2011, Atagawa Heights, Izu, Shizuoka, Japan)
17. 青木 慎也 「 α_s from PACS-CS」 (招待講演),
Workshop on Precise Measurement of α_s , (9-11 February 2011, Max Planck
Institut für Physik, Munich, Germany)
18. 石井 理修 「NN interaction from the lattice」 (招待講演),
International conference on the structure of baryons, BARYONS'10, (Dec.7-
11, 2010, Osaka, Japan)
19. 土井 琢身 「The study of the Three Nucleon Force in full QCD Lattice calcu-
lations」 ,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Sardinia,
Italy, Jun. 14-19, 2010)
20. 土井 琢身 「Nucleon strangeness form factors and moments of PDF」 (招待講演),
12th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of
the Nucleon (MENU2010) (Virginia, USA, May 31 - Jun. 4, 2010)
21. 土井 琢身 「Exploring Three Nucleon Forces in Lattice QCD」 ,
International conference on the structure of baryons (BARYONS'10) (Osaka,
Japan, Dec. 7-11, 2010)

22. 土井 琢身 「Exploring Two and Three Nucleon Forces in Lattice QCD」 (基調講演),
International Symposium on "From Quarks to Supernovae" (Atagawa, Japan, Nov. 28-30, 2010)
23. 土井 琢身 「Hadron-Hadron Interactions from Lattice QCD」 (招待講演),
Nucleon-Nucleon Interaction and Nuclear Many-Body Problems (Mumbai, India, Nov. 18-27, 2010)
24. 佐々木 健志 「Coupled Channel Approach to $(S,I)=(-2,0)$ Baryon-Baryon Interactions from Lattice QCD」 (招待講演),
The 21st European Conference on Few-Body Problems in Physics (Salamanca, Spain, Aug. 29th-Sept. 3rd, 2010)
25. 佐々木 健志 「Lattice QCD study of baryon-baryon interactions in the $(S,I)=(-2,0)$ system using the coupled-channel formalism」 ,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010) (Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
26. 武田 光平 「Nucleon strange quark content in $2 + 1$ -flavor QCD」 ,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010) (Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
27. 石塚 成人 「Lattice QCD calculation of the rho meson decay width」 ,
国際シンポジウム 「From Quarks to Supernovae」 (熱川ハイッ, 静岡県, 2010年11月28日-30日)
28. K. Kanaya 「Finite temperature QCD on the lattice – status 2010」 (招待講演),
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010) (Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
29. H. Ohno 「An application of the variational analysis to calculate the meson spectral functions」 ,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010) (Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
30. H. Saito 「Deconfinement transition in QCD near the heavy quark limit」 ,
The XXVIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2010) (Villasimius, Sardinia, Italy, June 14-19, 2010)
31. K. Kanaya 「Status of EOS calculation in $2+1$ flavor QCD with improved Wilson quarks by the fixed scale approach」 (招待講演),
International workshop "Extreme QCD 2010" (XQCD 2010) (Physikzentrum Bad Honnef, Germany, June 21-23, 2010)

32. H. Ohno 「Scaling study of the chiral phase transition in two flavor QCD at finite chemical potential for the improved Wilson quark action」 ,
International workshop "Extreme QCD 2010" (XQCD 2010) (Physikzentrum
Bad Honnef, Germany, June 21-23, 2010)
33. H. Saito 「A method for identifying the order of deconfinement phase transition
in QCD」 ,
International workshop "Extreme QCD 2010" (XQCD 2010) (Physikzentrum
Bad Honnef, Germany, June 21-23, 2010)
34. K. Kanaya 「Lattice results on the phase structure and equation of state in
QCD at finite temperature」 (招待講演),
International conference on "Quark Confinement and the Hadron Spectrum
IX" (QCHS9) (Complutense University of Madrid, Madrid, Spain, Aug. 30-
Sept. 4, 2010)
35. H. Ohno 「A method to calculate meson spectral functions with a variational
method in lattice QCD」 ,
Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiments" (Mishima,
Japan, Nov. 4-6, 2010)
36. K. Kanaya 「QCD thermodynamics with Wilson-type quarks」 ,
Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiments" (Mishima,
Japan, Nov. 4-6, 2010)
37. H. Saito 「The deconfinement phase transition in heavy quark region」 ,
Japanese-German Seminar 2010 "Lattice QCD confronts experiments" (Mishima,
Japan, Nov. 4-6, 2010)
38. H. Saito 「Phase structure of finite temperature QCD in the heavy quark mass
region」 ,
Asian School on Lattice Field Theory 2011 (TIFR, Mumbai, India, Mar.14-25,
2011)
39. 吉江 友照 「Status Report: JLDG」 ,
The 16th International Lattice Data Grid Workshop (Video workshop hosted
by Boston Univ., March 5, 2011)
40. Nobuyuki Ishibashi 「Light-cone Gauge String Field Theory and Dimensional
Regularization」 ,
"String Field Theory and Related Aspects" (Yukawa Institute for Theoretical
Physics, Kyoto, Japan, October 18-22, 2010)
41. Yuji Satoh 「Gauge/string duality and thermodynamic Bethe ansatz equa-
tions」 (招待講演),

RIMS workshop, Infinite Analysis 10 “Developments in Quantum Integrable Systems” (Kyoto University, Kyoto, Japan, June 14-16, 2010)

42. 八田 佳孝 「Application of the AdS/CFT correspondence to high energy scattering in QCD」 ,
Nordita program “AdS/CFT duality and its applications” (Stockholm, Sweden, May 30-Jun. 8, 2010)
43. 八田 佳孝 「On the difference between pp and ppbar cross sections at high energy」 ,
Low-x meeting (Kavala, Greece, Jun. 23-27, 2010)
44. 八田 佳孝 「Eccentricity and elliptic flow in pp collisions at the LHC」 ,
ExtreMe Matter Institute Workshop “Structure functions, geometric scaling and parton saturation” (GSI, Germany. Nov. 22-24, 2010)
45. 八田 佳孝 「Eccentricity and elliptic flow in pp collisions at the LHC」 (招待講演) ,
The 3rd Asian Triangle Heavy-Ion Conference (ATHIC 2010) (Wuhan, China, Oct. 18-20, 2010)
46. 植田 高寛 「Soft photon production from gauge/string duality」 ,
Low-x meeting 2010 (Kavala, Greece, Jun. 23-27, 2010)
47. 植田 高寛 「A geometric approach to sector decomposition」 ,
3rd Computational Particle Physics Workshop (Tsukuba, Japan, Sep. 23-25, 2010)

[国内学会、研究会]

1. 藏増 嘉伸 「Current Status and Future Perspectives in Lattice Gauge Theories」 ,
次世代格子ゲージシミュレーション研究会 (理化学研究所, 和光市, 2010年9月24-26日)
2. 藏増 嘉伸 「エクサスケールコンピューティングで基礎科学が目指すもの」 ,
2011年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (産業技術総合研究所, つくば市, 2011年1月18-19日)
3. 石塚 成人 「Calculation of rho meson decay width from the PACS-CS configurations」 ,
日本物理学会 (九州工業大学戸畑キャンパス, 北九州市, 2010年9月11-14日)
4. 滑川 裕介 「Charm quark system on the physical point in 2+1 flavor lattice QCD」 ,
“New Hadrons” Workshop 2010 (理化学研究所, 和光市, 2011年2月28-3月1日)

5. 谷口 祐介 「 $N_f=2+1$ QCD における Schroedinger functional scheme を用いた非摂動論的な繰り込み」,
日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 11-14 日, 九州工業大学
6. 青木 慎也 「次世代スパコンの目指すもの」 & 「私から見た次世代スパコン」,
シンポジウム『次世代スパコンで展開が期待される素粒子物理学』、北陸信越
地区素粒子論グループ合宿研究会、2010 年 5 月 23 日
7. 土井 琢身 「Hadron Interactions from Lattice QCD」,
Workshop on “Next-generation lattice gauge simulation” (理化学研究所、和
光、2010 年 9 月 24-26 日)
8. 土井 琢身 「Lattice QCD approach to Three Nucleon Force (2)」,
日本物理学会 (九州工業大学、北九州、2010 年 9 月 11-14 日)
9. 土井 琢身 「Exploring Three Nucleon Forces in Lattice QCD」,
Workshop on “Current status and prospects for few-body problems in physics”
(福岡国際会議場、福岡、2010 年 8 月 20-21 日)
10. 土井 琢身 「Lattice QCD approach to Three Nucleon Force」,
Workshop on “From YN interactions to Neutron stars”, (理化学研究所、和光、
2010 年 8 月 24 日)
11. 佐々木 健志, 「Hyperon-hyperon interaction from lattice QCD through the
coupled channel formalism」,
KEK 理論センター研究会「ストレンジネス核物理 2010」(KEK, つくば、2011
年 12 月 2 - 4 日)
12. 大野 浩史 「Scaling study of the chiral phase transition in two-flavor QCD for
the improved Wilson quarks at finite density」,
新学術領域研究 (研究領域提案型) 「素核宇宙融合による計算科学に基づいた
重層的物質構造の解明」計画研究 A01 班 「量子色力学にもとづく真空構造と
クォーク力学」第 3 回研究会 (筑波大学 計算科学研究センター, July 7, 2010)
13. 斎藤 華 「重いクォークに対する 非閉じ込め相転移の次数」,
原子核三者若手夏の学校 (パノラマランド木島平, 長野, Aug. 8, 2010)
14. 大野 浩史 「格子 QCD における対角化の方法を用いたチャーモニウムスペク
トル関数の研究」,
熱場の量子論とその応用 (京都大学 基礎物理学研究所, Aug. 30, 2010)
15. 大野 浩史 「格子 QCD における対角化の方法を用いたメソンスペクトル関数
の計算」,
日本物理学会 2010 年秋季大会 (九州工業大学戸畑キャンパス、北九州市, Sept.
13, 2010)

16. 斎藤 華 「クォーク質量が大きい領域での QGP 有限温度相転移の解析」,
日本物理学会 2010 年秋季大会 (九州工業大学戸畑キャンパス、北九州市, Sept.
13, 2010)
17. 斎藤 華 「有限密度格子 QCD シミュレーションに向けた試み」,
次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム 2010 および第 1 回戦略プ
ログラム 5 分野合同ワークショップ (ニチイ学館, 神戸ポートアイランドセン
ター, 神戸, Jan. 17, 2011)
18. 吉江 友照 「計算素粒子物理学のデータ共有基盤 JLDG の高度化」,
平成 21 年度 CSI 委託事業報告交流会 (学術総合センター, 東京, 2010 年 6 月
21 日)
19. 吉江 友照 「Hepnet-J/sc 報告」,
Hepnet-J ユーザー会 (東大宇宙線研究所神岡研究施設, 神岡, 2010 年 10 月
30-31 日)
20. 吉江 友照 「格子 QCD データグリッド ILDG/JLDG の構築と運用」(招待講
演),
第 3 回データ科学ワークショップ (筑波大計算科学研究センター, つくば, 2010
年 11 月 25-26 日)
21. 酒井 一博、佐藤 勇二, 「 AdS_3 時空における有限ギャップ開弦解」,
日本物理学会 2010 年秋季大会 (九州工業大、北九州、2010 年 9 月 11-14 日)
22. 初田 泰之, 伊藤 克司, 酒井 一博, 佐藤 勇二 「Thermodynamic Bethe ansatz
equations for minimal surfaces in AdS_3 」,
日本物理学会 2010 年秋季大会 (九州工業大、北九州、2010 年 9 月 11-14 日)
23. 初田 泰之, 伊藤 克司, 酒井 一博, 佐藤 勇二 「Six-point gluon scattering ampli
tudes from Z_4 symmetric integrable model」,
日本物理学会 2010 年秋季大会 (九州工業大、北九州、2010 年 9 月 11-14 日)
24. 佐藤 勇二 「Gluon scattering amplitudes from gauge/string duality and inte
grability」,
立教大学「場の理論、量子重力研究会」招待講演 (立教大学、東京、2011 年 1
月 5-6 日)
25. 初田 泰之, 伊藤 克司, 酒井 一博, 佐藤 勇二 「2 次元 CFT を用いた 4 次元グ
ルーオン散乱振幅の解析」,
日本物理学会第 66 回年次大会 (新潟大、新潟、2011 年 3 月 25-28 日)
26. 八田 佳孝 「AdS/CFT による核子構造研究」,
KEK 研究会「核子構造研究の新展開 2011」, (高エネルギー加速器研究機構、
茨城、2011 年 1 月 7-8 日)

27. 八田 佳孝「AdS/CFTのコライダー物理への応用」(シンポジウム招待講演),
日本物理学会秋季大会(九州工業大学、北九州、2010年9月11-14日)
28. 植田 高寛「軟光子放出過程のゲージ弦対応による解析」,
日本物理学会秋季大会(九州工業大学、北九州、2010年9月11-14日)
29. 植田 高寛「Eccentricity and elliptic flow in high multiplicity pp collisions」,
第33回素粒子論グループ四国セミナー(徳島大学、徳島、2010年12月25-26日)

〈国際会議・研究会の実施〉

1. 青木慎也 他,
科研費新学術領域研究「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」主催国際シンポジウム“From Quarks to Supernovae”
(熱川ハイツ, 伊豆, 静岡, 2010年11月28-30日)
参加者 約80名
2. 青木慎也 他,
科研費新学術領域研究「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」レクチャーシリーズの主催
第一回 2010年6月9-10日 東京大学 理学部, 東京
第二回 2010年12月15-16日 京都大学 基礎物理学研究所, 京都
3. 金谷 和至 他,
日本学術振興会 二国間交流事業 日独セミナー「格子QCDの新段階 — 実験の再現から予言へ (Lattice QCD confronts experiment)」
(三島市・三島商工会議所会館, 2010年11月4-6日)
参加者 44名 (内、ドイツ13名、米国3名)
4. 金谷 和至 他,
国際ワークショップ「有限温度有限密度QCDの非摂動論的展望 (Nonperturbative aspects of QCD at finite temperature and density)」
(筑波大学計算科学研究センター, 2010年11月8-9日)
参加者 43名 (内、海外7ヶ国12名)
5. 金谷 和至 他,
Asian School on Lattice Field Theory 2011
(Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, 2011年3月14-25日)
参加者 約40名