

研 究 活 動

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

講師 谷口 裕介

助教 佐藤 勇二、八田 佳孝、毛利 健司

研究員 井上 貴史、植田 高寛、浮田 尚哉、佐々木 健志、土井 琢身、滑川 祐介、山崎 剛

大学院生 (13名)

【人事異動】佐々木健志氏(2009年4月1日)、植田高寛氏(2009年4月1日)、山崎剛氏(2009年1月1日)が素粒子理論グループに、それぞれ研究員として加わった。石井理修研究員が東京大学理学系研究科に研究員として(2009年3月31日)、松尾俊寛研究員が岡山光量子研究所に研究員として(2009年3月31日)、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(2010年3月31日)、それぞれ転出した。

【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われた。

格子場の理論グループでは、計算科学研究センターと密接な連携のもと、格子QCDの大型数値シミュレーションが推進された。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、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を目的として、 $N_f = 2 + 1$ QCDの大規模シミュレーションを進めている。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、これらの大規模シミュレーションのためのCollaborationとしての研究と並行して、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われた。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の構築を推進した。

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、谷口 裕介、井上 貴史、植田 高寛、浮田 尚哉、佐々木 健志、土井 琢身、滑川 祐介、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 ヶ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の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。また、物理点における体積効果を調べる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 94.Tflops、平成 20 年 6 月稼働開始）を利用して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。以下に平成 21 年度における進展を述べる。

物理点直上での $N_f = 2 + 1$ QCD シミュレーション

昨年度に引き続き、PACS-CS プロジェクトの目標である物理点直上でのシミュレーションに取り組んだ。この計算では格子サイズ $32^3 \times 64$ 、格子間隔 $a \approx 0.09\text{fm}$ の格子上で非摂動的に $O(a)$ 改良された Wilson クォーク作用と Iwasaki ゲージ作用を用いた。これらのパラメータは平成 18、19 年度に行ったクォーク質量依存性を調べるための計算に使用したのと同じである。物理

点直上でのシミュレーションを行う上での最大の問題は、up-down クォーク質量および strange クォーク質量の物理点直上へのチューニングである。我々は reweighting 法を用いてこの問題を解決することに成功した（論文1）。図1左図は reweighting 因子の配位依存性を表している。異なる配位間のゆらぎは安定していることがわかる。図1右図では左図の reweighting 因子を用いて、up-down クォーク質量および strange クォーク質量の物理点へのチューニングを行った結果である。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る。それらのハドロン質量が誤算の範囲で実験値に正しくチューニングされていることが図1右図において見てとれる。本研究によって格子 QCD における物理点直上のシミュレーションという長年の課題は解決された。

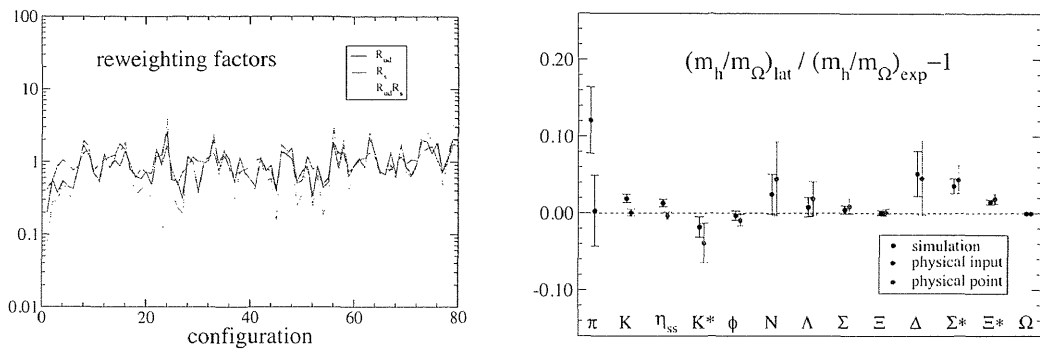


図 1: 物理点直上での $N_f = 2 + 1$ QCD シミュレーション。左図: Reweighting 因子の配位依存性。 R_{ud} は up-down クォーク質量に対する Reweighting 因子を表し、 R_s は strange クォーク質量に対する Reweighting 因子を表す。 $R_{ud}R_s$ は両者の積。右図: ハドロン質量の実験値との比較。 Ω バリオンの質量で規格化されている。黒丸は reweighting によるチューニング前の結果。赤丸は reweighting によって物理点直上にチューニングされた結果。青丸は up-down クォーク質量、strange 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。

ρ 中間子崩壊幅の計算

これまで生成された配位を用いて幾つかの興味深い物理量の計算も行っている。特筆すべきは、 ρ 中間子崩壊幅の計算である。ハドロン共鳴状態の深い理解の為に、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本質的な重要性を持つ。本研究では、 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。最初のステップとして、410MeV の π メソン質量に相当する up-down クォーク質量で生成された配位を用いて散乱位相の高精度計算を行った。これから得られた崩壊幅の値は 113 ± 22 MeV であり、実験値 150 MeV をほぼ再現している。本研究の成果は本年度論文に纏める予定である。今後より小さなクォーク質量を用いた計算を実行し、クォーク質量依存性を調べる計画である。

格子 QCD による原子核の直接構成

また、平成 21 年度は格子 QCD による原子核の直接構成という新たな研究の

潮流を生み出した (論文 3)。格子 QCD における原子核相関関数の評価は膨大な数のクォークダイアグラムの計算を必要とするが、我々はこの問題を解決するために計算コストを大幅に削減する方法を提案した。この方法を用いて、軽い原子核の中でも比較的大きな束縛エネルギーを持つヘリウム原子核に対して、現実世界よりも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ヘリウム原子核と自由核子のエネルギー差の体積依存性を調べなければならないが、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ヘリウム原子核が束縛しているという結論が得られた (図 2)。

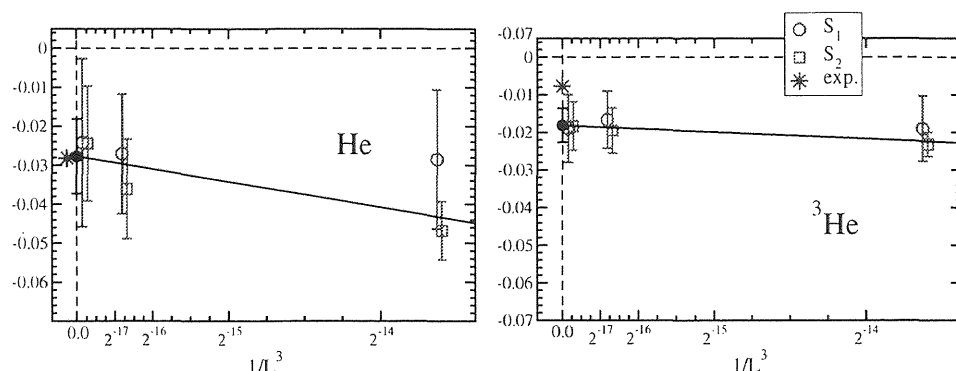


図 2: 格子 QCD による原子核の直接構成。左図は He 原子核と 4 個の核子の質量のエネルギー差の体積依存性。 L は格子の空間方向の長さ。 $S_{1,2}$ は原子核相関関数における演算子の選び方の違いを表す。黒線は空間体積無限大への外挿の様子。右図は ³He 原子核と 3 個の核子の質量のエネルギー差の体積依存性。

(2) 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 QCD により計算したが、その方法のまとめの論文 14 を発表した。また、青木はポテンシャルの近距離での振舞を解析的手法で研究した (論文 17,23)。

また、村野らは、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 (図.3)、これらのポテンシャルは少なくとも、 $E = 0 \sim 45\text{MeV}$ 、 $L = 0 \sim 2$ において利用可能であることを示した (論文 30, 国際会議 16)。

井上らは、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。結果を用い、相互作用のフレーバー依存性、特に短距離における違いとその起源を議論した (論文 31、国際会議発表 17, 国内会議 10,11)。特筆すべき点は、フレーバー 1 重項チャン

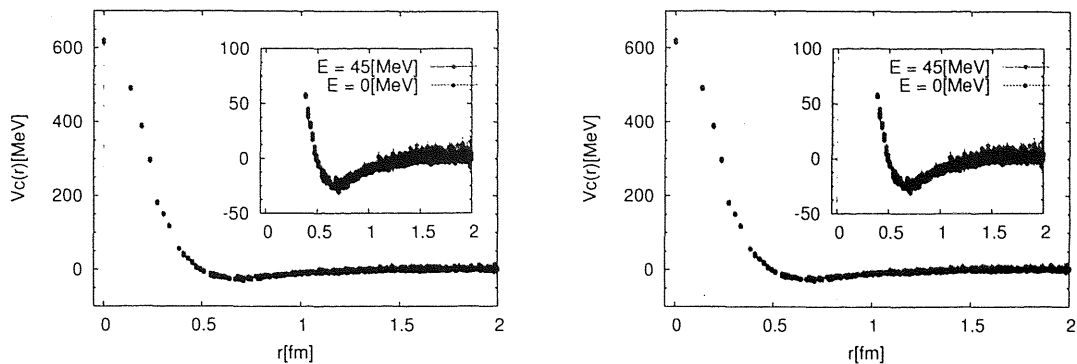


図 3: 核子間中心力ポテンシャルのエネルギー依存性 (左図) と角運動量依存性 (右図)。左: 重心エネルギー 0MeV, $L = 0$ で計算された中心力ポテンシャル (青) と 45MeV, $L = 0$ における計算 (赤) の比較。右: 45MeV, $L = 2$ (水色) と 45MeV, $L = 0$ (赤) の比較。今のところ殆ど差は見られない。

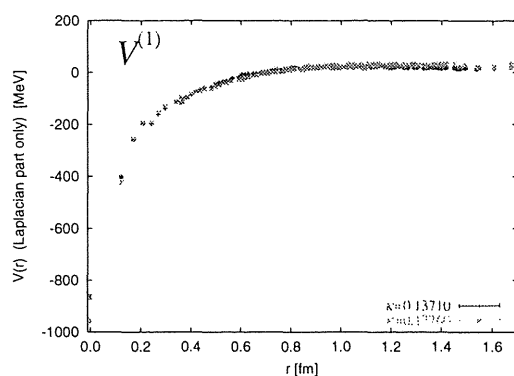


図 4: 3 フレーバー格子 QCD でのフレーバー 1 重項ポテンシャル。

エネルギーが他と異なり短距離で引力であることを示した点、ダイバリオン状態が存在する可能性があることを示した点である (図 4)。

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 (左図) 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有効二体相互作用である。三体系でも有効相互作用が精度良く決定できることを実証している。真の二体相互作用との差を取ったものが図 5 (右図) であるが、このゲージ配位では、三体系の効果は誤差の範囲内でゼロコンシステントとなった。

(3) 厳密なカイラル対称性を持つクォークを用いた研究 (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 12)、カイラル凝縮の決定 (論文 15)、QCD の結合定数の決定などを行った。また、トポロジーを固定した影響を含んだカイラル摂動論を定式化

し、物理量に対する質量依存性を解析的に評価した (論文 13)。

(4) ドメインウォールクォークによる構造関数のモーメントの計算

格子上で良いカイラル対称性を持つドメインウォールクォーク作用を用いて、 u, d, s クォーク動的効果を含んだゲージ配位による、核子深非弾性散乱と関係する構造関数のモーメントを計算した。軸性ベクトル流形状因子と異なり有限体積効果が小さい事、演算子繰り込みによる系統誤差が大きい事を示めた (論文 48)。

(5) カイラル摂動論に対する有限格子間隔の影響の研究

青木らは、Wilson fermion の場合のカレントに対する有限格子間隔の影響をカイラル摂動論を用いて研究した (論文 11)。

また、カイラル摂動論を用いて、twisted mass 格子 QCD における、 π 中間子の質量や崩壊定数の格子間隔依存性を調べた。

(6) 格子 QCD による散乱長と位相差の研究

石塚らは、 $I = 2 \pi\pi, I = 1 KK, I = 1/2 K\pi, I = 3/2 K\pi$ の各散乱での散乱長を、格子 QCD により計算した。それにより、 $K\pi$ 相互作用が、 $I = 1/2$ チャンネルでは引力であり、 $I = 3/2$ チャンネルでは斥力であることを初めて直接計算により示した (論文 34)。

さらに、 $NN, N\pi$ 散乱の散乱位相を格子 QCD で計算する場合に必要な有限体積公式を、相対論的場の理論から導いた (論文 35)。

(7) 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、新潟大学江尻、広島大学梅田らとの共同研究で、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。

Wilson 型クォークによる系統的研究は世界的に見ても、1990 年代前後に行われた筑波の qcdpax, cp-pacs グループ以降、ほとんど行われていなかった。そ

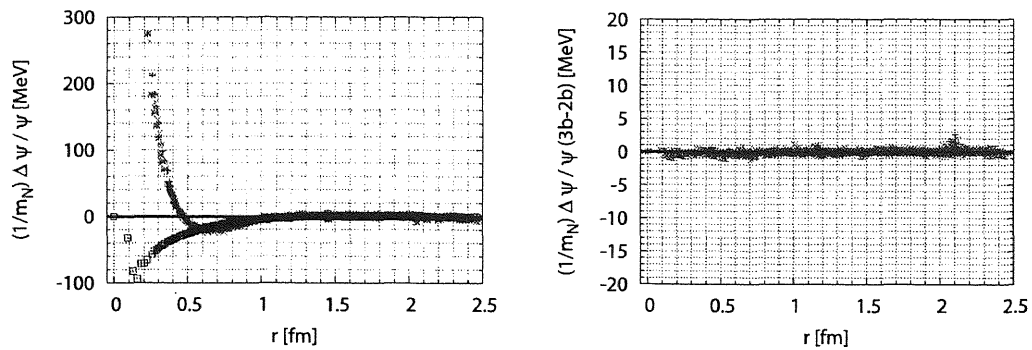


図 5: 核子三体系内での有効二体相互作用の研究。左図: 三重水素原子核中の有効二体ポテンシャル (赤: 1S_0 中心力, 青: $^3S_1 - ^3D_1$ 中心力, 茶: $^3S_1 - ^3D_1$ テンソル力)。右図: テンソル力について有効二体ポテンシャルと真の二体ポテンシャルとの差。

のため、有限温度の相図が既に詳細に調べられている $N_f = 2$ QCD の場合について、Wilson クォークとして最初の有限密度 QCD 研究を実行した。有限密度に関しては、化学ポテンシャルに関する Taylor 展開の手法を用いた。従来の方法に加えて有限密度の複素位相部分をガウス関数で近似して reweighting 法を用いる新しい手法による状態方程式の有限密度効果の計算や、クォーク数密度揺らぎの計算なども行った。これらの計算で、従来の Staggered クォークの計算で見つがっていた有限密度領域でクォーク数密度の揺らぎが増大する兆候が Wilson クォークによっても確認できた。これらの結果をまとめた本論文を投稿した (論文 46)。

固定格子間隔アプローチと T -integral 法の開発

最終目標である $N_f = 2 + 1$ QCD での有限温度・有限密度研究は、極めて多くの計算時間を要求する。従来の固定格子数 (N_t) で integral 法を用いる計算方法では、ゼロ温度格子のシミュレーションを大量に要求し、それが全体の計算コストの大きな部分を占めている。それを大きく削減する方法として、固定格子間隔アプローチを提案した。また、固定格子間隔アプローチで状態方程式を計算するために、状態方程式の新しい非摂動的評価法 T -integral 法を開発した。従来の非摂動的評価法 integral 法は固定格子間隔では用いることは出来ないが、ある熱力学関係式を元に、状態方程式 (圧力) をトレースアノマリーの温度積分としてあらわすと、固定格子間隔でも状態方程式の計算が可能になる。このアイデアをまずクエンチ近似 QCD の場合でテストして、従来の方法で求めた状態方程式の結果と遜色の無い結果を再現した (論文 36,43)。

現在、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、固定格子間隔アプローチに基づく $N_f = 2 + 1$ QCD の有限温度配位生成を進めている。これまでに得られた状態方程式に関する成果の一部を国際会議等で発表した (国際会議 43,45)。

重いクォーク間の自由エネルギーと遮蔽質量の研究

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。固定格子間隔方法の大きな利点として、純粋に系の温度だけを変化させた研究が可能である。自由エネルギーの研究においても、くりこみの不定性無しに、温度依存性を調べることが出来る。図 6 の左図に、高温相における自由エネルギーの結果を示す。極めて高温でも、十分短距離にすれば、グレーン破線で示された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が見て取れる。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る。図 6 の右図に、デバイ遮蔽質量の温度、及

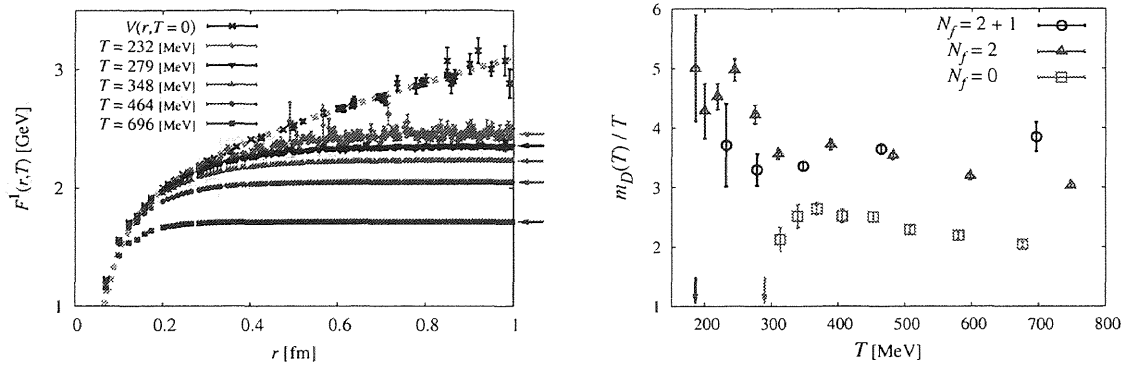


図 6: 固定格子間隔アプローチによる高温相における重いクォーク間の自由エネルギーの研究。左図: ポリアコフ ライン相関関数から求めた重いクォーク間の自由エネルギーの温度依存性。グレーの破線は CP-PACS-JLQCD による温度ゼロの場合のクォーク間ポテンシャルの結果。左端の矢印は、ポリアコフ ライン 1 本の真空期待値から計算した、完全に分離した重いクォークの自由エネルギーを 2 倍したもの。右図: ポリアコフ ライン相関関数から求めたデバイ遮蔽質量の温度、及びフレーバー数依存性。右図下の矢印は $N_f = 2$ 及び 0 の場合の相転移温度を表す。

びフレーバー数依存性を示す。 $N_f = 0$ 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 38,42,44)。

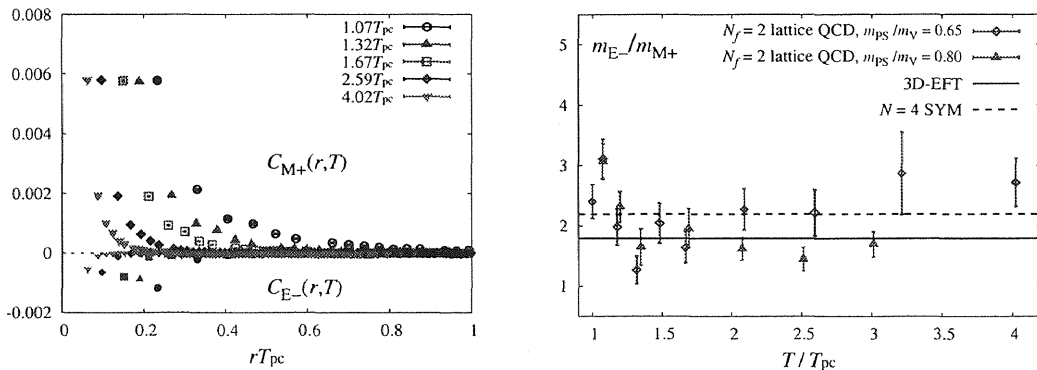


図 7: ゲージ不変な遮蔽質量の研究。左図: ゲージ不変な電氣的ポリアコフ ライン相関関数と磁氣的ポリアコフ ライン相関関数。 $N_f = 2$ QCD における $m_{PS}/m_V = 0.65$ の場合の結果。右図: 電氣的遮蔽質量と磁氣的遮蔽質量の比 (スクリーニング比) の温度依存性。実線と破線は、3次元有効模型と $N = 4$ 超対称模型によるスクリーニング比の結果。

前項の研究では、ゲージをクーロンゲージに固定して、自由エネルギーやデバイ遮蔽質量を計算している。クーロンゲージはクォークの物理画像を取り出す上で有用なゲージとして他グループの研究でも広く用いられており、同じゲージを用いた現象論的研究に有用な非摂動論的情報を提供しているが、最終的な現象はゲージの取り方には依らないので、ゲージに依存した物理量は直接の観測可能量ではない。この問題に対処するために、ゲージ不変な遮蔽質量の計算方法を開発した。ゲージ不変なポリアコフ ラインを時間反転と荷電反転

とで分類し、それらの相関関数を調べることにより、電氣的遮蔽と磁氣的遮蔽をゲージ不変に分離した。図7の左図に、 $N_f = 2$ QCDの場合に得られたゲージ不変な相関関数の例を示す。これらの相関関数の長距離での遮蔽を調べることにより、電氣的遮蔽質量と磁氣的遮蔽質量を計算した。図7の右図に示すように、電氣的遮蔽質量と磁氣的遮蔽質量の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 40, 47)。

クォーク・グルオン・プラズマ相におけるチャーモニウム消失の研究

チャームクォークと反チャームクォークの束縛状態であるチャーモニウム (特に J/ψ , χ_c , ψ' 状態など) がクォーク・グルオン・プラズマ (QGP) 相中で消失する温度や特性を格子 QCD で研究した。我々は、対角化の方法を用いて基底状態と励起状態に対する有効質量及び波動関数を計算し、有効質量の空間方向境界条件依存性及び波動関数の空間分布を調べることでチャーモニウムの消失の有無を確かめた。シミュレーションは $O(a)$ 改良されたウィルソンクォーク作用とプラケットゲージ作用を使用し、クエンチ近似を用いて行った。その結果、少なくとも臨界温度の 2.3 倍の温度まで 1S、2S、1P、2P 状態のチャーモニウムが消失することは確認できなかった (論文 37, 41)。

QGP 有限温度相転移の次数に関する研究

QGP 有限温度・有限密度相転移の次数を判定する有効な手法の研究を行った。QGP 有限温度相転移の次数を判定する方法として、観測量のヒストグラムを用いる方法があるが、測定が容易なプラケットのヒストグラムに reweighting 法を組み合わせる研究方法が近年提案された。クォーク質量が非常に大きい領域でのシミュレーションを行い、この領域での QGP 有限温度相転移の次数について調べた。過去の研究からこの領域での相転移の概要は分かっているので、これと今回の結果を比較した。この比較から、この新しい方法が上手く機能していることを確かめた。この方法を用いることで臨界点をこれまでより容易に特定することができ、この方法が従来の方法に比べ優れていることがわかった。国際会議などで発表を行い (国際会議 24)、現在論文を準備中である。

(8) ILDG/JLDG 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 プロジェクトに参画し、システムの改良に携さざると共に、定例のワークショップ (テレビ会議) を 2 回ホストした。また、国内の格子 QCD 研究者のデータグリッド Japan Lattice Data Grid 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、松尾 俊寛)

(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。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。

石橋は馬場・村上（理研）とともに、弦理論に次元正則化を適用することを提案した（論文 49）。弦理論では時空の次元を臨界次元という次元からずらすと、うまく定義できないことが知られている。しかし、光円錐ゲージの弦の場の理論の場合は、次元をずらしてもローレンツ不変性は破るものの、他の点では不都合は現れない。この正則化を用いて tree 4 点振幅を計算し、光円錐ゲージの超弦の場の理論において知られているコンタクトタームの問題と呼ばれている問題を解決できることを示した。

光円錐ゲージの弦の場の理論を次元正則化する場合、この正則化が理論のゲージ対称性を保っているかということが問題になる。弦理論のゲージ対称性は、世界面上でコンフォーマルゲージをとって量子化した際の BRS 対称性と同等であることが知られている。世界面上では、コンフォーマルゲージの理論は光円錐ゲージの理論に縦波方向のモードとゴーストのモードを付け加えることによって得られる。石橋は馬場・村上（理研）とともに、次元を臨界次元からずらした場合は、縦波方向のモードに対応する世界面上の理論を通常の自由場の理論と異なる理論にとってやれば、光円錐ゲージの理論と BRS 不変なコンフォーマルゲージの理論を対応させてやることが出来ることを示した（論文 50）。これにより、我々の提案した正則化はゲージ対称性を保つことが間接的に証明された。

石橋は馬場・村上（理研）とともに、ゲージ不変性に関する結果を超対称性のある場合に拡張した（論文 51）。また、この結果を元に光円錐ゲージの超弦の場の理論の散乱振幅を計算し、次元正則化を用いれば、外線がボゾンであるような全ての 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 52）。

(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が同じ理論の異なった記述であるという重力理論／ゲージ理論双対性の背後には可解構造があることが知られてきている。その応用として、この可解構造を用いて超対称ゲージ理論の強結合グルーオン散乱振幅を解析する研究が進展している。佐藤は酒井（慶應義塾大学）と共に、3次元反ドジッター時空中の弦について、有限帯解と呼ばれる非常に大きなクラスの古典解を構成し、強結合散乱振幅を記述する光的多角形を境界に持つ解を系統的に探索した。その結果、6点散乱の collinear 極限に対応する新たな厳密解を見いだした（論文 53, 54）。

また、一般の n -点散乱振幅について、対応する弦の古典解の具体的な表式を用いず、解に現れるデータ（ストークスデータ）から強結合散乱振幅を求める方法が提案されていた。佐藤は初田（理化学研究所）、伊藤（東京工業大）、

酒井（慶應義塾大学）と共に、3次元反ドジッター時空中の解について10、12点散乱の場合にこの方法を用い、散乱振幅を記述する積分方程式を導いた。さらに、一般のn-点散乱振幅を記述する積分方程式は、一般化されたパラフェルミオン共形場理論を摂動して得られる可解模型である homogeneous sinh-Gordon 模型の熱力学的ベータ仮説方程式であることを予想した。この予想は我々の論文とほぼ同時期に現れた別グループの論文の結果を用いて、3次元反ドジッター時空中の場合は完全に、5次元反ドジッター時空中の場合は現在のところ部分的に確認されている（論文55）。

【3】 高エネルギー・ハドロン物理

（八田佳孝、植田高寛）

(1) 電子陽電子消滅の終状態における軟グルオンの分布と相関の研究

ジェットから放出される軟グルオンの分布と、BFKL発展における軟グルオンの間に厳密な共形写像が存在することが昨年八田によって示された。論文56において八田らはこの対応関係をさらに深く掘り下げ、non-global logarithm をすべての次数まで考慮した軟グルオンの角度分布や角度相関を解析的に導いた。

(2) ゲージ弦対応に基づく偏極深非弾性散乱の解析

陽子はスピン2分の1を持っているが、これがどのようにクォークとグルオンに分配されているかはQCDの重要問題の一つである。八田、植田、XiaoはAdS/CFT対応を用いて偏極深非弾性散乱を解析し、偏極構造関数のスモールエックスでの振舞いを決定した。この結果に基づき、強結合ではヘリシティの寄与は抑制され、軌道角運動量の寄与が主要になると議論した（論文57）。

(3) LHCにおけるジェットからのエネルギーフローの研究

LHCにおける新粒子は高い横運動量を持つジェットとして観測される可能性がある。この際、新粒子を含むジェットと通常のQCDのジェットを区別することは容易ではない。八田と植田はジェットから大角度で放出されるエネルギーの量をそれぞれの場合に計算し、これにより2つのジェットを区別する可能性を議論した（論文58）。

(4) AdS/CFT対応に基づくオデロンの研究

オデロンとは高エネルギーハドロン衝突において交換される荷電パリティ奇のRegge粒子であり、陽子と反陽子の断面積の差を記述する。八田らはAdS/CFT対応を用いてD-braneの間にB場を交換する振幅を計算し、陽子-陽子散乱と陽子-反陽子散乱の全断面積の差を解析的に導いた。陽子-反陽子の断面積のほうが大きいことが実験的に知られているが、エネルギーを上げていくとこれが逆転するという予言を行った（論文59）。

(5) sector decomposition における幾何学的解法

摂動論のループ積分に現れる赤外発散を系統的に分離する手法として sector decomposition と呼ばれる方法がある。これは積分領域分割と変数変換を行うことによって発散部分を因子化するものであるが、この過程は一意ではなく、従来行われていた方法では、結果として非常に長い数式が得られる傾向があり問題であった。植田らは、この問題を幾何学の問題に帰着させることで見通しよく領域分割と変数変換をすることができ、比較的短い数式を得ることが可能なことを示した (論文 60)。

(6) 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

光子は量子効果を通してハドロンの振る舞いをするのが可能であり、この意味で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 QCD 結合定数での next-to-leading order までの計算を行って調べた (論文 61)。

〈論文〉

1. PACS-CS Collaboration: S. Aoki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, T. Izubuchi, D. Kadoh, K. Kanaya, Y. Kuramashi, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yamazaki, T. Yoshié, Physical point simulation in 2+1 flavor lattice QCD, Phys. Rev. D 81, No. 7 (2010) ref. 074503, pp.1-12
2. PACS-CS Collaboration: K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, T. Izubuchi, D. Kadoh, K. Kanaya, Y. Kuramashi, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yoshié, SU(2) and SU(3) chiral perturbation theory analyses on baryon masses in 2+1 flavor lattice QCD, Phys. Rev. D 80, No. 5 (2009) ref. 054502, pp.1-17
3. PACS-CS Collaboration: T. Yamazaki, Y. Kuramashi, A. Ukawa, Helium Nuclei in Quenched Lattice QCD, Phys. Rev. D, submitted (arXiv:0912.1383[hep-lat])
4. PACS-CS Collaboration: S. Aoki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, T. Izubuchi, D. Kadoh, K. Kanaya, Y. Kuramashi, K. Murano, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yoshié, Precise determination of the strong coupling constant in $N_f = 2 + 1$ lattice QCD with the Schrödinger functional scheme, JHEP 10, (2009) ref. 053, pp.1-20
5. H. Tadano, Y. Kuramashi, T. Sakurai, Application of preconditioned block BiCGGR to the Wilson-Dirac equation with multiple right-hand sides in lattice QCD, Comput. Phys. Commun., in press.

6. T. Sakurai, H. Tadano, Y. Kuramashi, Application of block Krylov subspace algorithms to the Wilson-Dirac equation with multiple right-hand sides in lattice QCD, *Comput. Phys. Commun.* 181, No. 1 (2010) pp.113-117.
7. H. Tadano, T. Sakurai, Y. Kuramashi, Block BiCGGR: a new block Krylov subspace method for computing high accuracy solutions, *JSIAM Lett.* 1, (2009) pp.44-47.
8. Yoshinobu Kuramashi for PACS-CS Collaboration, Physical point simulations in 2+1 flavor lattice QCD, *Proceeding of Science (LAT2009)* 110.
9. Y. Taniguchi for PACS-CS Collaboration, Determination of the running coupling constant α_s for $N_f = 2+1$ QCD with the Schroedinger functional scheme, *Proceeding of Science (LAT2009)* 208.
10. Y. Namekawa for PACS-CS Collaboration, Heavy-light mesons in 2+1 flavor lattice QCD, *Proceeding of Science (LAT2009)* 111.
11. S. Aoki, O. Bär, S. Sharpe, Vector and Axial Currents in Wilson Chiral Perturbation Theory, *Physical Review D* 80 No.1 (2009) 014506.
12. S.Aoki, T.W.Chiu, H.Fukaya, S.Hashimoto, T.H.Hsieh, T.Kaneko, H.Matsufuru, J.Noaki, T.Onogi, E.Shintani, N.Yamada (JLQCD, TWQCD collaborations), Pion form factors from two-flavor lattice QCD with exact chiral symmetry, *Phys. Rev. D* 80 (2009) 034508.
13. Sinya Aoki and Hidenori Fukaya, Chiral perturbation theory in a theta vacuum, *Phys. Rev. D* 81 (2010) 034022.
14. Sinya Aoki, Tetsuo Hatsuda, Noriyoshi Ishii, Theoretical Foundation of the Nuclear Force in QCD and its applications to Central and Tensor Forces in Quenched Lattice QCD Simulations, *Prog. Theor. Phys.* 123 (2010) 89-128.
15. JH. Fukaya, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi, N. Yamada (LQCD collaboration), Determination of the chiral condensate from 2+1-flavor lattice QCD, *Phys. Rev. Lett.* 104 (2010) 122002.
16. E. Shintani, S. Aoki, H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Kaneko, T. Onogi, N. Yamada, Strong coupling constant from vacuum polarization functions in three-flavor lattice QCD with dynamical overlap fermions, (arXiv:1002.0371 [hep-lat])
17. Sinya Aoki, Janos Balog, Peter Weisz, Application of the operator product expansion to the short distance behavior of nuclear potentials, *JHEP* 05 (2010) 008.
18. S. Aoki, Lattice QCD, *Nucl. Phys.* A827 (2009) 145c-152c.

19. S. Aoki, From Quarks to Nuclei: Challenges of Lattice QCD, Nucl. Phys. B(Proc. Suppl.) 195 (2009) 281-287.
20. Sinya Aoki, Oliver Bär, Stephen R. Sharpe, The vector and axial currents in Wilson chiral perturbation theory, PoS(LAT2009)084.
21. H. Ohki, S. Aoki, H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Kaneko, H. Matsufuru, J. Noaki, T. Onogi, E. Shintani, N. Yamada, Nucleon sigma term and strange quark content in 2+1-flavor QCD with dynamical overlap fermions, PoS(LAT2009)124.
22. Sinya Aoki, Pion physics on the lattice, PoS(CD09)070,
23. Sinya AOKI, Janos Balog and Peter Weisz, The repulsive core of the NN potential and the operator product expansion, PoS(LAT2009)132.
24. T. Kaneko, S. Aoki, T.W. Chiu, H. Fukaya, S. Hashimoto, T.H. Hsieh, J. Noaki, E. Shintani and N. Yamada, Flavor-singlet mesons in $N_f = 2 + 1$ QCD with dynamical overlap quarks, PoS(LAT2009) 107.
25. K. Takeda, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, T. Onogi, N. Yamada (JLQCD collaboration), Calculation of nucleon strange quark content with dynamical overlap quarks, PoS(LAT2009) 141.
26. J. Noaki, S. Aoki, T.W. Chiu, H. Fukaya, S. Hashimoto, T. H.Hsieh, T. Kaneko, H. Matsufuru, T. Onogi, E. Shintani, N. Yamada (JLQCD, TWQCD Collaborations), Chiral properties of light mesons with $N_f = 2 + 1$ overlap fermions, PoS(LAT2009) 096.
27. E. Shintani, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Onogi, N. Yamada (for JLQCD Collaboration), π^0 to two-photon decay in lattice QCD, PoS(LAT2009) 246.
28. E. Shintani, S. Aoki, H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Onogi, N. Yamada (for JLQCD Collaboration), Determination of α_s in 2+1-flavor QCD through vacuum polarizationfunction, PoS(LAT2009) 207.
29. Y. Ikeda, S. Aoki, T. Doi, T. Hatsuda, T. Inoue, N. Ishii, K. Murano, H. Nemura, K. Sasaki, Kaon-Nucleon potential from lattice QCD, to be published in the Proceedings of the 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics (fb19) (arXiv:1002.2309[hep-lat])
30. K. Murano, N. Ishii, S. Aoki, T. Hatsuda, Energy dependence of nucleon-nucleon potentials in lattice QCD, PoS(Lattice 2009) 126.
31. T. Inoue for HAL QCD Collaboration, Baryon-baryon potentials in the flavor SU(3) limit from lattice QCD, PoS LAT2009 (2009) 133.

32. T. Doi, M. Deka, S.-J. Dong, T. Draper, K.-F. Liu, D. Mankame, N. Mathur and T. Streuer, Nucleon strangeness form factors from $N_f = 2 + 1$ clover fermion lattice QCD, Phys. Rev. D 80 (2009) 094503.
33. T. Doi, M. Deka, S.-J. Dong, T. Draper, K.-F. Liu, D. Mankame, N. Mathur and T. Streuer, The calculation of nucleon strangeness form factors from $N_f = 2 + 1$ clover fermion lattice QCD, PoS LAT2009 (2009) 134.
34. K. Sasaki, N. Ishizuka, T. Yamazaki, M. Oka (PACS-CS Collaboration), S-wave pi K scattering length from lattice QCD, Proceeding of Science (Lattice 2009) 098.
35. N. Ishizuka, Derivation of Lüscher's finite size formula for $N\pi$ and NN system, Proceeding of Science (Lattice 2009) 119.
36. T. Umeda, S. Ejiri, S. Aoki, T. Hatsuda, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Ohno (WHOT-QCD Collaboration), Fixed Scale Approach to Equation of State in Lattice QCD, Phys. Rev. D 79, No.5 (2009) ref.051501(R), pp.1-5
37. H. Ohno, T. Umeda, and K. Kanaya (WHOT-QCD Collaboration), Search for the Charmonia Dissociation in Lattice QCD, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 36, No.6 (2009) ref.064027, pp.1-7
38. T. Umeda, S. Ejiri, S. Aoki, T. Hatsuda, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Ohno (WHOT-QCD Collaboration), Thermodynamics of SU(3) gauge theory at fixed lattice spacing , PoS(LATTICE 2008) (2009) ref.174, pp.1-7
39. S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, Y. Maezawa, N. Ukita, T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), Equation of state at finite density in two-flavor QCD with improved Wilson quarks, PoS(LATTICE 2008) (2009) ref.189, pp.1-7
40. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, N. Ukita, T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), Magnetic and electric screening masses from Polyakov-loop correlations, PoS(LATTICE 2008) (2009) ref.194, pp.1-7
41. H. Ohno, T. Umeda, K. Kanaya (WHOT-QCD Collaboration), Search for the Charmonium Dissociation Temperature with Variational Analysis in Lattice QCD, PoS(LATTICE 2008) (2009) ref.203, pp.1-7
42. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, H. Ohno, T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), Free energies of heavy quarks in full-QCD lattice simulations with Wilson-type quark action, Nucl. Phys. A 830 (2009) 247c-250c

43. K. Kanaya, T. Umeda, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, Y. Maezawa, H. Ohno (WHOT-QCD Collaboration), Fixed scale approach to the equation of state on the lattice , Nucl. Phys. A 830 (2009) 801c-804c
44. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, K. Kanaya, H. Ohno and T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), 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
45. K. Kanaya, S. Aoki, H. Ohno, T. Umeda, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, Y. Maezawa (WHOT-QCD Collaboration), 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
46. S. Ejiri, Y. Maezawa, N. Ukita, S. Aoki, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), 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 submitted (arXiv:1003.3387[hep-lat])
47. Y. Maezawa, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, N. Ishii, K. Kanaya, N. Ukita and T. Umeda (WHOT-QCD Collaboration), Electric and Magnetic Screening Masses at Finite Temperature from Generalized Polyakov-Line Correlations in Two-flavor Lattice QCD, Phys. Rev. D (2010) to be published
48. Y. Aoki, T. Blum, H. W. Lin, S. Ohta, S. Sasaki, R. J. Tweedie, T. Yamazaki, and J. M. Zanotti (RBC and UKQCD Collaborations), Nucleon isovector structure functions with dynamical (2+1)-flavor domain wall fermions lattice QCD, Phys. Rev. D, submitted (arXiv:1003.3387[hep-lat])
49. Y. Baba, N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone gauge superstring field theory and dimensional regularization, JHEP **0910** (2009) 035
50. Y. Baba, N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone gauge string field theory in noncritical dimensions, JHEP **0912** (2009) 010
51. N. Ishibashi, Y. Baba and K. Murakami, Light-cone gauge NSR strings in noncritical dimensions, JHEP **1001** (2010) 119
52. Y. Baba, N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone gauge superstring field theory and dimensional regularization II, UTHEP600
53. K. Sakai and Y. Satoh, A note on string solutions in AdS_3 , JHEP **0910** (2009) 001.
54. K. Sakai and Y. Satoh, Constant mean curvature surfaces in AdS_3 , JHEP **1003** (2010) 077.

55. Y. Hatsuda, K. Ito, K. Sakai and Y. Satoh, Thermodynamic Bethe ansatz equations for minimal surfaces in AdS_3 , JHEP **1004** (2010) 108.
56. E. Avsar, Y. Hatta and T. Matsuo, Soft gluons away from jets: Distribution and correlation, JHEP 0906 (2009) ref.011, pp.1-24.
57. Y. Hatta, T. Ueda and B. Xiao, Polarized DIS in N=4 SYM: Where is spin at strong coupling?, JHEP 0908 (2009) ref.007, pp.1-23.
58. Y. Hatta and T. Ueda, Jet energy flow at the LHC, Phys. Rev. D **80**, No. 7 (2009) ref. 074018, pp.1-13.
59. E. Avsar, Y. Hatta and T. Matsuo, Odderon in baryon-baryon scattering from the AdS/CFT correspondence, JHEP 1003 (2010) ref.037, pp.1-23.
60. T. Kaneko and T. Ueda, A geometric method of sector decomposition, Comput. Phys. Commun., in press, arXiv:0908.2897 [hep-ph].
61. Y. Kitadono, K. Sasaki, T. Ueda and T. Uematsu, Heavy quark effects on parton distribution functions in the unpolarized virtual photon up to the next-to-leading order in QCD, Phys. Rev. D **81** (2010) 074029.
62. T. Uematsu, Y. Kitadono, K. Sasaki and T. Ueda, Heavy quark mass effects on the virtual photon structure in QCD, Proceeding of Sciences (RADCOR2009) 32, 1-6.

〈著書・総説等〉

1. 八田佳孝「高エネルギー QCD 反応におけるダイポール散乱振幅の因子化の研究」原子核研究 54 No.1 (2009) pp.24-32.

〈学位論文〉

[博士論文]

1. 上田 悟
「Wilson Chiral Perturbation Theory for twisted mass lattice QCD (ツイストされた質量を持った格子 QCD に対するウィルソンカイラル摂動論の研究)」
2. Nguyen Hoang Oanh
「Pion form factor from 2+1 dynamical flavor lattice QCD (2 + 1 動的フレーバーの格子量子色力学からのパイ中間子形状因子)」

3. 村野 啓子
「Energy dependence of nucleon-nucleon potentials from Lattice QCD (格子 QCD から求める核子間ポテンシャルのエネルギー依存性)」

[修士論文]

1. 齋藤 華
「クォーク質量が大きい領域での QCD 有限温度相転移の次数に関する研究」
2. 渡邊 龍祐
「カイラル摂動論による 2 体パイ中間子ポテンシャルの研究」

〈非常勤講師・集中講義〉

1. 青木 慎也 「Nuclear Forces from Lattice QCD」 ,
The 13th Taiwan Nuclear Physics Summer School, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, June 29-July 4, 2009.
2. 青木 慎也 「Lattice QCD and Nuclear Physics」 ,
Les Houches Summer School “Modern perspective in lattice QCD: Quantum field Theory and high performance computing”, Ecole de Physique, Les Houches, France, August 3-28, 2009.
3. 八田佳孝、「Small-x physics in QCD and gauge/string duality」 ,
大阪市立大学理学部 2009 年 11 月 4 日～6 日

〈研究成果発表（講演）〉

[国際会議]

1. 藏増 嘉伸 「Physical Point Simulations in 2+1 Flavor Lattice QCD」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Peking, China, July 25-31, 2009)
2. 谷口 裕介 「Determination of running coupling α_s for $N_f = 2 + 1$ QCD with Schrödinger functional scheme」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Peking, China, July 25-31, 2009)
3. 浮田 尚哉 「Nucleon axial charge in 2+1 flavor lattice QCD with $O(a)$ improved Wilson quark action」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Beijing, China, July 26-31, 2009)

4. 滑川 裕介 「Heavy-light mesons in 2+1 flavor lattice QCD」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Peking, China,
July 25-31, 2009)
5. 滑川 裕介 「Charmed mesons in lattice QCD」 (招待講演),
KEK workshop on HEAVY QUARK PHYSICS IN QCD, (Tsukuba, Japan,
Sep. 7-8, 2009)
6. 谷口 裕介 「Non-perturbative renormalization of $N_f = 2+1$ QCD with Schrödinger
functional scheme」 ,
2009 Taipei Workshop on Lattice QCD (National Taiwan University, Taiwan,
Dec. 13-15, 2009)
7. 青木 慎也 「Baryon interaction from Lattice QCD」 (招待講演),
The miniworkshop “Light Quark Masses and Hadron Physics (From quarks to
life)” (Universidad Complutense de Madrid, Spain, 2-5 June, 2009.)
8. 青木 慎也 「Pion Physics on the lattice」 (基調講演),
Sixth International Workshop on Chiral Dynamics, (University of Bern, Switzer-
land, July 6-10, 2009.)
9. 青木 慎也 「Nuclear Forces from Lattice QCD」 (基調講演),
KITPC Program “Lattice Quantum Chromodynamics”, (KITPC@CAS, Bei-
jing, China, July 6-25, 2009.)
10. 青木 慎也 「Repulsive core of the NN potential and operator product expan-
sion」 (招待講演),
(The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory, Peking Uni-
versity, Beijing, China, July 25-31, 2009.)
11. 青木 慎也 「Baryon-Baryon-Interaction from Lattice QCD」 (招待講演),
The 5-th International Conference on Quark and Nuclear Physics, (Beijing,
September 21-26, 2009.)
12. 青木 慎也 「Baryon Interactions from Lattice QCD」 (招待講演),
The 7-th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium, (University of Tsukuba,
Tsukuba, Japan, November 9-13, 2009.)
13. 青木 慎也 「The repulsive core of the nucleon-nucleon potentials and the op-
erator product expansion」 (招待講演),
2009 Taipei Workshop on Lattice QCD, National Taiwan University, (Taipei,
Taiwan, December 13-15. 2009)
14. 青木 慎也 「A challenge in lattice QCD」 (招待講演),
Conference on Computational Physics 2009, (Kaohsiung, Taiwan, December
15-19, 2009.)

15. 青木 慎也 「Computing Facilities in Japan」 (招待講演),
The First ANPhA Symposium, (J-PARC, Tokai, Japan, Jan. 18-19, 2010.)
16. 村野 啓子 「Energy dependence of nucleon-nucleon potentials from lattice QCD」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Beijing, China, July. 25-31, 2009)
17. 井上 貴史 「Baryon-baryon potentials in the flavor SU(3) limit from lattice QCD」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Beijing, China, July 26-31 2009)
18. 土井 琢身 「Nucleon Strangeness Form Factors from $N_f = 2+1$ Clover Fermion Lattice QCD」 (招待講演),
KITPC conference on Lattice Quantum Chromodynamics (Beijing, China, Jul. 6-25, 2009)
19. 土井 琢身 「The calculation of nucleon strangeness form factors from $N_f = 2+1$ clover fermion lattice QCD」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Beijing, China, Jul. 26-31, 2009)
20. 土井 琢身 「Nucleon strangeness form factors from $N_f = 2 + 1$ clover fermion lattice QCD」 ,
‘Third Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (HAW09)(Hawaii, USA, Oct. 13-17, 2009)
21. 石塚 成人 「Derivation of Lüscher’s finite size formula for $N\pi$ and NN system」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Beijing, China, July 25 - 31, 2009)
22. 金谷 和至 「Fixed scale approach to the equation of state on the lattice」 ,
The 21st International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2009) (Knoxville, TN, USA, Mar.30-Apr.4, 2009)
23. 金谷 和至 「Towards the equation of state in 2+1 flavor QCD with improved Wilson quarks in the fixed scale approach」 ,
The XXVII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2009) (Peking University, Beijing, China, Jul.26-31, 2009)
24. 齋藤 華 「The QCD phase diagram in heavy quark region」 ,
YITP international workshop on "New Frontiers in QCD 2010 -Exotic Hadron Systems and Dense Matter-" (NFQCD2010) (YITP, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, Mar.8-19, 2010)

25. 金谷 和至 「QCD thermodynamics at zero and finite densities with improved Wilson quarks」 (招待講演) ,
YITP international workshop on "New Frontiers in QCD 2010 -Exotic Hadron Systems and Dense Matter-" (NFQCD2010) (YITP, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, Mar.8-19, 2010)
26. 吉江 友照 「International Lattice Data Grid」 (招待講演) ,
HackLat2009 (NeSC, Edinburgh, May 06-07, 2009)
27. 藏増 嘉伸 「Site Report on Physics Plan from Japan」 ,
ILDG14 (TV workshop hosted by CCS, Tsukuba, June.05, 2009)
28. 浮田 尚哉 「Site Report on Physics Plan from Japan」 ,
ILDG15 (TV workshop hosted by CCS, Tsukuba, Dec.04, 2009)
29. 吉江 友照 「Metadata Working Group report」 ,
ILDG15 (TV workshop hosted by CCS, Tsukuba, Dec.04, 2009)
30. 山崎 剛 「Nucleon structure functions from $N_f=2+1$ dynamical domain wall fermions」 (招待講演) ,
The 7th Circum-Pan-Pacific Symposium on High Energy Spin Physics (Yamagata, Japan, Sep. 15-18, 2009)
31. Nobuyuki Ishibashi 「Light-cone gauge string field theory in noncritical dimensions」 (招待講演),
APCTP Focus Program on Current Trends in String Field Theory (Pohang, Korea, Dec. 7-18, 2009)
32. Yuji Satoh 「Entanglement through conformal interfaces」 ,
IPMU Focus Week "Condensed matter physics meets high energy physics "
(Kashiwa, Japan, Feb. 8 -12, 2010)
33. 八田 佳孝 「Polarized DIS and the AdS/CFT correspondence」 (招待講演) ,
The 7th Circum-Pan-Pacific Symposium on High Energy Spin Physics (Yamagata, Sept. 15-18, 2009)
34. 八田 佳孝 「Jets at weak and strong coupling」 (招待講演) ,
International workshop and symposium in celebration of Al Mueller's 70th birthday (New York, USA, Oct.13-15, 2009)
35. 八田 佳孝 「Energy flow away from jets」 ,
QCD in connection with BSM study at LHC (IPMU, Kashiwa, Nov.10-13, 2009)

[国内学会、研究会]

1. 藏増 嘉伸「物理的クォーク質量における 2+1 フレーバー格子 QCD」,
日本物理学会秋季大会、招待講演 (甲南大学、神戸、2008年9月10-13日)
2. 滑川 裕介「 $N_f = 2 + 1$ 格子 QCD による重-軽中間子スペクトル及び崩壊定数」,
日本物理学会秋季大会 (甲南大学、神戸、2009年9月10-13日)
3. 浮田 尚哉 「クローバーフェルミオンを用いた $N_f=2+1$ 格子 QCD での核子の軸性ベクトル結合定数」,
日本物理学会 2009 年秋季大会 (甲南大学岡本キャンパス、神戸、2009年9月10日-13日)
4. 滑川 裕介「重いフレーバーを含んだ領域での格子 QCD によるスペクトロスコピー」,
新学術領域「新ハドロン」研究会、招待講演 (名古屋大学、名古屋、2009年11月27-28日)
5. 滑川 裕介「PACS-CS results for heavy quark physics in $N_f=2+1$ lattice QCD」,
理研・格子 QCD 研究会、招待講演 (理化学研究所、和光、2009年12月22日)
6. 青木 慎也, 分科会 E 「物質の起源と構造」モデレーターおよび全体討議「世界に誇る拠点を目指して」パネリスト,
次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム 2009 -世界に誇る拠点を
目指して- (MY PLAZA、東京、2009年10月7、8日)
7. 青木 慎也「分野5『物質と宇宙の起源と構造』について」,
合同シンポジウム「次世代スーパーコンピューターでせまる物質と宇宙の起源
と構造」第1日『戦略機関が目指すもの』(東京ステーションコンファレンス、
東京、2010年3月15日)
8. 村野 啓子 「格子 QCD からもとめる核力ポテンシャルのエネルギー依存性」
盛岡研究会「バリオン間相互作用に基づく核物質の構造」,
(つなぎ温泉、盛岡市、2009年6月25-27日)
9. 村野 啓子「格子 QCD による核子間ポテンシャルのエネルギー依存性と non-
locality」,
日本物理学会年会 (岡山大学津島キャンパス、岡山、2010年3月20-23日)
10. 井上貴 史「格子 QCD によるフレーバー SU(3) 極限でのバリオン間ポテンシャル」,
新学術領域キックオフ研究会「多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究」(名古屋大学、2009年11月27日-28日)

11. 井上 貴史「格子 QCD によるフレーバー SU(3) 極限でのバリオン間ポテンシャル」,
日本物理学会第 65 回年次大会 (岡山大学、2010 年 3 月 20 日 - 23 日)
12. 土井 琢身「Lattice QCD approach to Three Nucleon Force」,
日本物理学会年会 (岡山大学、岡山、2010 年 3 月 20-23 日)
13. 土井 琢身「Nucleon strangeness form factors from $N_f = 2 + 1$ clover fermion lattice QCD」,
KEK Workshop on “Nuclear and Hadron Physics” (KEK、つくば、2009 年 8 月 11-13 日)
14. 石塚 成人「核子-中間子、核子-核子散乱位相の格子 QCD 計算のための有限体積公式の導出」,
日本物理学会 (甲南大学、兵庫、2009 年 9 月 10-13 日)
15. 金谷 和至「QCD at finite temperatures and densities on the lattice with improved Wilson quarks」,
KEK 理論研究会 2010 (高エネルギー加速器研究機構、茨城、Mar.11-12, 2010)
16. 斎藤 華「クォーク質量が大きい領域での QCD 有限温度相転移の次数について」,
日本物理学会 第 65 回年次大会 (岡山大学、岡山、Mar.20-23, 2010)
17. 吉江 友照「格子 QCD データグリッド ILDG/JLDG」(招待講演),
平成 21 年度 ITBL シンポジウム (海洋研究開発機構 横浜研究所、横浜、2009 年 5 月 29 日)
18. 吉江 友照「Hepnet-J/sc 報告」,
Hepnet-J ユーザー会 (KEK、つくば、2009 年 10 月 2 - 3 日)
19. 山崎 剛「Hadron scattering from lattice QCD」(招待講演),
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质構造の解明」A01 班「量子色力学にもとづく真空構造とクォーク力学」第一回 A01 班研究会 (大阪大学、大阪、2009 年 9 月 14 日)
20. 山崎 剛「Calculation of Helium nuclei in quenched lattice QCD」(招待講演),
理研・格子 QCD 研究会 (理化学研究所、埼玉、2009 年 12 月 22 日)
21. 山崎 剛「格子 QCD を用いた $\Delta I = 3/2$ K 中間子崩壊行列要素の直接的計算」(若手奨励賞記念講演),
日本物理学会 (岡山大学、岡山、2010 年 3 月 20 - 23 日)
22. 石橋 延幸「Light-cone gauge string field theory in noncritical dimensions」(招待講演),
弦理論研究会 (2010) (立教大学、東京、2010 年 1 月 5, 6 日)

23. 八田 佳孝「ゲージ弦対応に基づく偏極深非弾性散乱の解析」,
日本物理学会秋季大会 (甲南大学、神戸、2009年9月10日-13日)
24. 八田 佳孝「高エネルギー衝突におけるダイポール散乱振幅の因子化の破れの研究」,
日本物理学会年次大会 若手奨励賞受賞記念講演 (岡山大学、岡山 2010年3月20日-23日)
25. 植田 高寛「Tevatron及びLHCでの2ジェット事象における gap survival probability について」,
日本物理学会秋季大会 (甲南大学、神戸、2009年9月10-13日)
26. 植田 高寛「計算幾何学的アルゴリズムに基づく sector decomposition の方法」,
日本物理学会年会 (岡山大学、岡山、2010年3月20-23日)

〈受賞〉

1. 山崎 剛, 日本物理学会 第四回若手奨励賞 (素粒子論領域)「格子 QCD 数値計算による K 中間子崩壊過程の解析」, 2010年3月

〈国際会議・研究会の実施〉

1. 青木 慎也 他,
研究会「バリオン間相互作用に基づく核物質の構造」
(つなぎ温泉、ホテル紫苑、盛岡、2009年6月25日ー27日)
参加者 約40名
2. 青木 慎也 他,
次世代スーパーコンピュータ戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」・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」 合同シンポジウム「次世代スーパーコンピュータでせまる物質と宇宙の起源と構造」
(東京ステーションコンファレンス 605 A+B+C、東京 2010年3月15日、東京大学 理学部一号館 小柴ホール、東京、2010年3月16日)
参加者 約100名