

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、石井 理修、根村 英克

講師 谷口 裕介

助教 佐藤 勇二、八田 佳孝、毛利 健司

研究員 浮田 尚哉、Nguyen Hoang Oanh、大野 浩史、佐々木 健志、
土井 琢身、滑川 裕介、西山 陽大

大学院生 (10名)

【人事異動】

西山陽大氏(京都大学研究員)が研究員として着任した(2011年4月1日)。石井理修計算科学研究センター主任研究員(HPCI戦略プログラム分野5)が、計算科学研究センター准教授(HPCI戦略プログラム分野5)となった(2011年4月1日)。根村英克氏(東北大学助教)が、計算科学研究センター准教授(HPCI戦略プログラム分野5)に着任した(2011年8月16日)。

土井琢身研究員(計算科学研究センター)が東京大学大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター特任助教として転出した(2011年6月30日)。Nguyen Hoang Oanh氏(2012年1月31日まで計算科学研究センター研究員)が、ベトナム国立大学に転出した(2012年3月)。大野浩史研究員が、ドイツ・ビーレフェルト大学研究員に転出した(2012年3月31日)。西山陽大研究員が、京都産業大学研究員として転出した(2012年3月31日)。

八田佳孝助教(筑波大学若手大学人育成イニシアティブ)が、数理物質系准教授(物理学専攻)に昇任した(2012年4月1日)。

【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、超弦理論、高エネルギー・ハドロン物理学の、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。さらに、こ

れと並行して、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と共同してオーバーラップ・フェルミオンを用いた研究を推進している JLQCD Collaboration や、核子間ポテンシャルやハドロン間相互作用の研究を推進している HAL QCD Collaboration、有限温度・有限密度 QCD の研究を推進している WHOT-QCD Collaboration など、活発な研究を行った。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年度から準備研究を行い、2011年度は本格的な研究を開始した。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、2010年度から藏増が計算科学研究機構の主任研究員を兼任している。

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、高エネルギー重イオン衝突直後のグルオン物質の時間発展と熱化過程の研究、陽子スピンのクォークとグルオンのヘリシティと軌道角運動量にどのように分解されるかの研究、さらに、LHCの陽子衝突実験で観測された終状態の生成粒子数が極めて大きい現象に関して、原子核衝突でみられるような楕円形フローが起こる可能性の研究を行った。

【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、根村 英克、谷口 裕介、浮田 尚哉、Nguyen Hoang Oanh、大野 浩史、佐々木 健志、土井 琢身、滑川 裕介)

(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、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 年度から物理点へ向けて up-down クォーク質量を段階的に軽くし、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 年度に、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。平成 22 年度からは、1+1+1 フレーバー QCD+QED シミュレーションの開発と、物理点における体積効果の検証を開始した。

なお、PACS-CS は平成 23 年 9 月末をもって運用を終了し、平成 24 年 2 月より後継機となる密結合並列演算加速機構実証システム HA-PACS (計算ノード数 268、GPU 部ピーク演算性能 713Tflops、CPU 部ピーク演算性能 89Tflops) が稼働を開始した。

1+1+1 フレーバー QCD+QED シミュレーションと物理点における体積効果

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を再現すべく 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。電磁相互作用および up と down クォークの質量差は reweighting 法によって取り入れている。本格計算は $32^3 \times 64$ の格子サイズを用いて行われ、up クォーク質量、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 4 つの物理インプットとして π^+ メソン、 K^0 メソン、 K^+ メソン、 Ω バリオンを採用した。これにより、up と down クォークの質量差を直接定量的に評価することが可能となった。現在計算は終了し、論文を準備中である (論文 24)。

物理点における体積効果の検証に関しては、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 64^4 の格子サイズを用いた 2+1 フレーバー QCD シミュレーションを実行中である (論文 13)。本年度は reweighting 法を用いた物理点へのチューニングが主な課題であった。図 1 は、ハドロン質量の実験値との比較を表している。ここでは、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 3 つの物理インプットとして、 π メソン、 K メソン、 Ω バリオンの質量を用いており、黒丸がオリジナルなシミュレーション結果、青丸はチューニング後の物理インプット、赤丸はそれ以外のハドロン質量を表している。青丸で表された結果から、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適切になされていることがわかる。チューニング後も 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 (論文 23)。

格子 QCD による原子核の直接構成

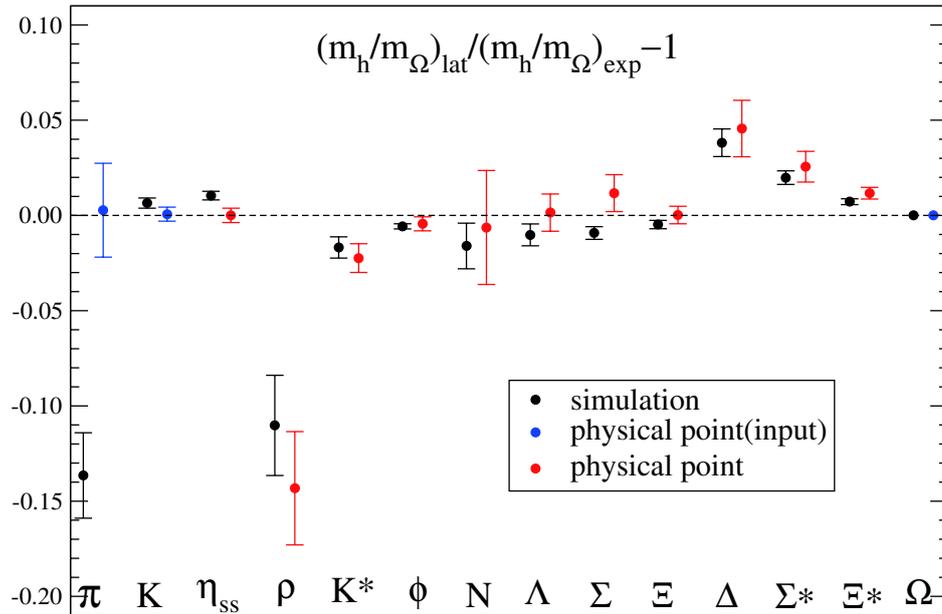


図 1: 物理点直上でのシミュレーションによる、ハドロン質量の実験値との比較。Ωバリオンの質量で規格化されている。黒丸、青丸、赤丸に関しては本文を参照。

格子QCDによる原子核の直接構成の研究は、宇川、蔵増らにより、平成21年度にヘリウム原子核の束縛エネルギー計算が開始され、平成22年度には2核子系の計算が試みられた。これらの計算は、コストを抑えるためにクエンチ近似かつ重いクォーク質量を用いた試験的なものである。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。しかしながら、シミュレーション結果は両チャンネルとも束縛状態であり、われわれが見出したスピン一重項チャンネルの束縛状態は、クエンチ近似かつ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（論文11,12）。そのため、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て最終的に非束縛状態になるのではないかと推測し、本年度は2+1フレーバーQCDシミュレーションによりヘリウム原子核および2核子系の束縛エネルギー計算を実行した。現在のところ、πメソン質量が約500 MeV程度の世界でも2核子系の両チャンネルは束縛状態であることが示唆されている。結果は、近々に論文に纏める予定である（論文25）。

U(1)問題の研究

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（論文16）。その興味深い一つとして、フレーバー1重項の疑スカラー粒子（ η' 粒子）の質量の問題（U(1)問題）の研究があげられる。この η' 粒子は、他の疑スカラー粒子と異なり、大きい質量を持つ。これは、 $U(1)_A$ の量子異常による破れによって、質量を獲得するためだと考えられている。この現象の深い理解の為には、この粒子の質量を格

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。石塚、宇川、吉江らは、PACS-CS グループ によって生成されたゲージ配位 ($a = 0.0907$ fm, $L = 2.9$ fm) の中で、 π 中間子質量が $m_\pi = 410$ MeV と $m_\pi = 300$ MeV の二つの場合について数値計算を行った。このような大きい体積での計算は、これまでに行われていなかった。同じ量子数を持つ擬スカラー粒子である η 粒子との混合は、二種類の演算子を使い相関関数行列を計算する事によって解いた (論文 22)。

得られた η 粒子 と η' 粒子 の質量の結果は以下である。 $m_\pi = 410$ MeV の場合は $m_\eta = 593 \pm 43$ MeV, $m_{\eta'} = 850 \pm 68$ MeV、また $m_\pi = 300$ MeV では $m_\eta = 617 \pm 53$ MeV, $m_{\eta'} = 1050 \pm 240$ MeV である。これらは実験値 : $m_\eta = 548$ MeV, $m_{\eta'} = 958$ MeV を、おおむね再現している。しかし、この問題の完全な理解のためには、更に統計誤差を小さくし、クォーク質量を詳細に調査し、その後に実験値と比較する必要がある。現在、統計精度を向上させるための計算を継続中である。

(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 により計算する方法を提案し、さまざまな研究を進めている (論文 7,9,14)。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体力に拡張し、核子の場合は3体力は近距離で常に斥力になることを示した。また、石井らはポテンシャルを精度よく求める新しい方法を提案し、力学的クォークの寄与を含んだ計算で核力ポテンシャルを求めた (論文 4)。

フレーバー SU(3) 極限での H ダイバリオン

昨年度、HAL QCD Collaboration は、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が、今年度はクォーク質量がより重いものと軽いもので計算を行い、H ダイバリオンの束縛エネルギーの質量依存性を詳細にしらべた。また得られたポテンシャルを用いて、SU(3) の破れの効果を近似的な手法で計算した (論文 17)。

ストレンジネス $S = -2$ のバリオン間相互作用

佐々木らは、従来の HAL QCD collaboration によるポテンシャルの導出方法を結合チャンネル Schrödinger 方程式に適用しストレンジネス $S = -2$ の2体バリオン系のポテンシャル行列を得た。この系の spin singlet 部分は SU(3) 極限で H-dibaryon が束縛しているチャンネルであり、s クォークが u,d より重くなり、SU(3) の破れに伴ってこの束縛系がどのように変化するかを調べる上で重要な計算となる。現在の計算では、CP-PACS/JLQCD Collaboration によって生成されたパイオン質量が 875 MeV に対応する 2+1 フレーバーゲー

ジ配位を使っており、その散乱位相差を見ると H-dibaryon が深く束縛している兆候 (図 2) を示している。今後の計算により、ハドロン質量が現実世界に近づくにつれて H-dibaryon がどのような運命を辿るかを検証できると期待される (論文 30)。

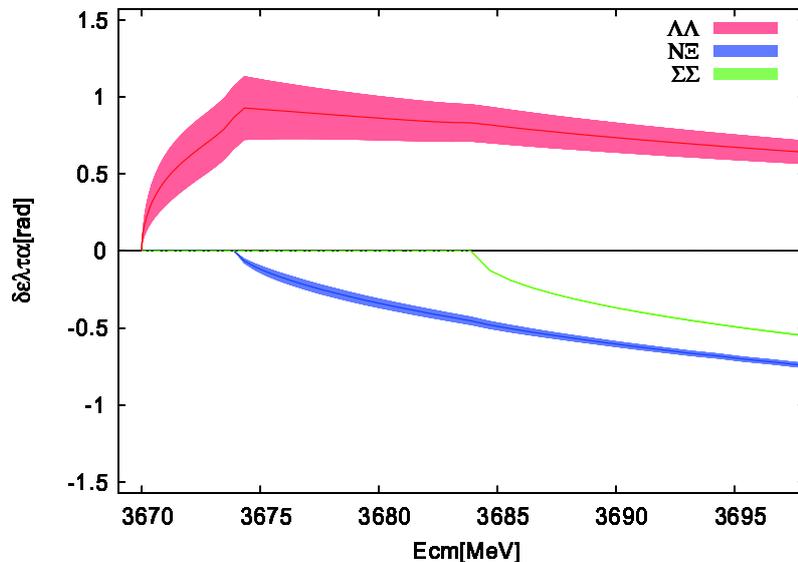


図 2: ストレンジネス $S = -2$ 系の散乱位相差。

バリオン間三体力の研究

近年、原子核の性質、あるいは超新星爆発や中性子星といった高密度系の性質を理解する上で、三体力の果たす役割の重要性が認識されている。土井らは、格子 QCD による三体力の決定に向けた研究を行った本年度は、三核子系としては三重陽子チャンネルを対象とし、三核子が等距離直線上に並んだ空間配置における三体力を研究対象とした。三体力を不定性無く求めるためのフレームワークを構築すると共に、実際の格子計算を、CP-PACS Collaboration によって生成されたパイオン質量が 1.1 GeV に対応する 2 フレーバージェ配位を用いて行った。その結果、近距離において三体斥力効果が存在することを見出した (図 3, 論文 40,39)。

(3) 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 (論文 5)。

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 年度から、現実的な $N_f = 2 + 1$ でのシミュレーションを進めて

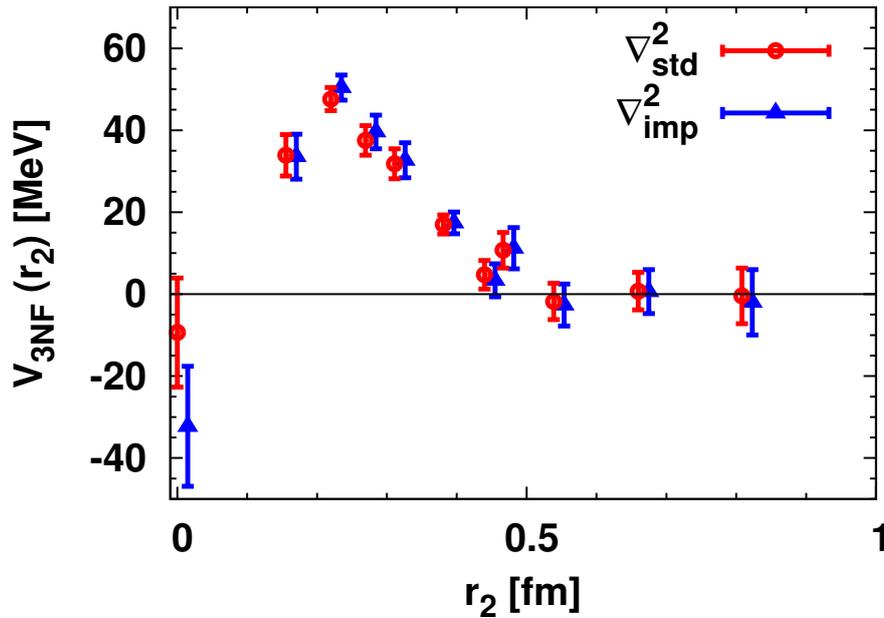


図 3: 三核子が等距離 r_2 [fm] で直線上に並んだ場合における三体力 [MeV]。

いる。第一段階として、u, dクォーク質量が現実より重い点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。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。この研究では、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することで、計算コストを大幅に削減した (図4、論文41)。

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最も直感的な情報を含んでいる。他方、系の作用に現れる物理量に関するヒストグラムは、reweighting 法で系のパラメータ依存性を調べる上で、中心的な役割をはたしており、reweighting 法を使う上で必ず計算する量でもある。我々は、これらのヒストグラムから定義される有効ポテンシャルと reweighting 法を組み合わせることにより、相転移次数を容易に判定する解析方法を開発した (論文38)。

その第一段階のテストとして、クォークが重い領域の QCD の相構造を、密度がゼロの場合 (平成22年度) と有限密度の場合 (平成23年度) の両方について研究した。クォークが重い領域では、クォークが重い極限から reweighting することにより、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が適用出来る。密度がゼロの場合には、系のゲージ部分の内部エネルギー密度に相当するプラケットの有効ポテンシャルを計算し、その振る舞いから相構造を研究した。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

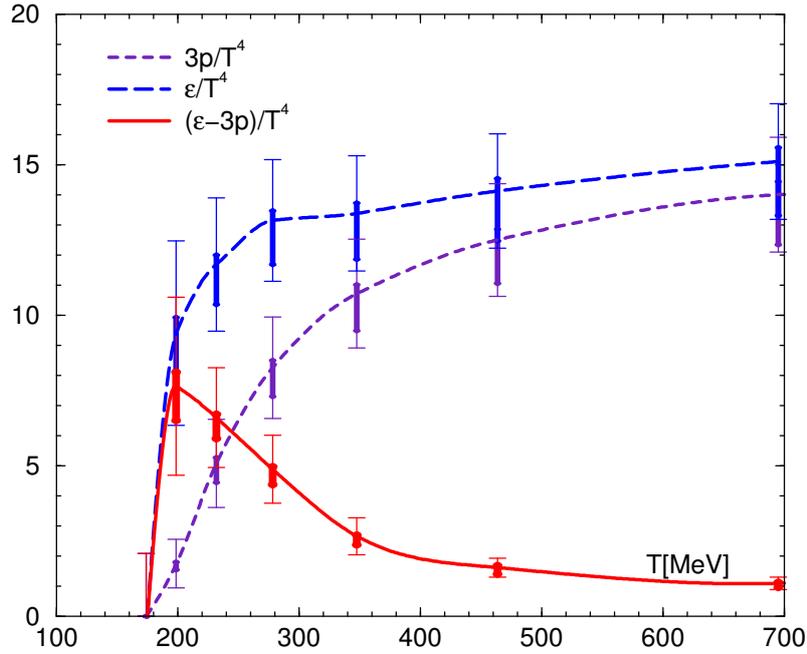


図 4: ウィルソン型クォークを用いた $N_f = 2 + 1$ QCD の状態方程式。 p はクォーク物質の圧力、 ϵ はエネルギー密度、 $\epsilon - 3p$ はトレース・アノーマリを表す。 u, d クォークは現実より重く、 $T \sim 200$ MeV あたりが有限温度クロスオーバー温度に相当する。

ン結果を組み合わせて、ブ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5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、動的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5左)。有限密度では、ブラケットと、重いクォークの自由エネルギーに相当するポリアコフループの二つの観測量に関する有効ポテンシャルを調べる必要がある (図5右)。化学ポテンシャルを含むホッピングパラメータ展開とシミュレーションにより、クォークによる有限密度位相項の評価を行い、1次相転移がクロスオーバーに変わる臨界点の位置は、位相項を無視した「位相クエンチ QCD」の臨界点からほとんど動かないことを示した (論文34)。

この研究の最終目標は、クォークが軽い領域における QCD の有限密度相構造の解明である。現在それに向けて、研究を進めている。クォークが軽くなると、ポリアコフループは重要な役割を果たさなくなるので、クォーク部分の内部エネルギーに対応する、クォーク行列式そのものに関する有効ポテンシャルを研究する。位相クエンチ QCD でシミュレーションを実行し、化学ポテンシャルが小さい領域で有限密度位相項の効果を reweighting 法で評価した結果、この領域では位相項の効果が小さいことを確認した。現在、化学ポテンシャルがより大きい場合を研究している (論文32)。

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・グルーオン・プラ

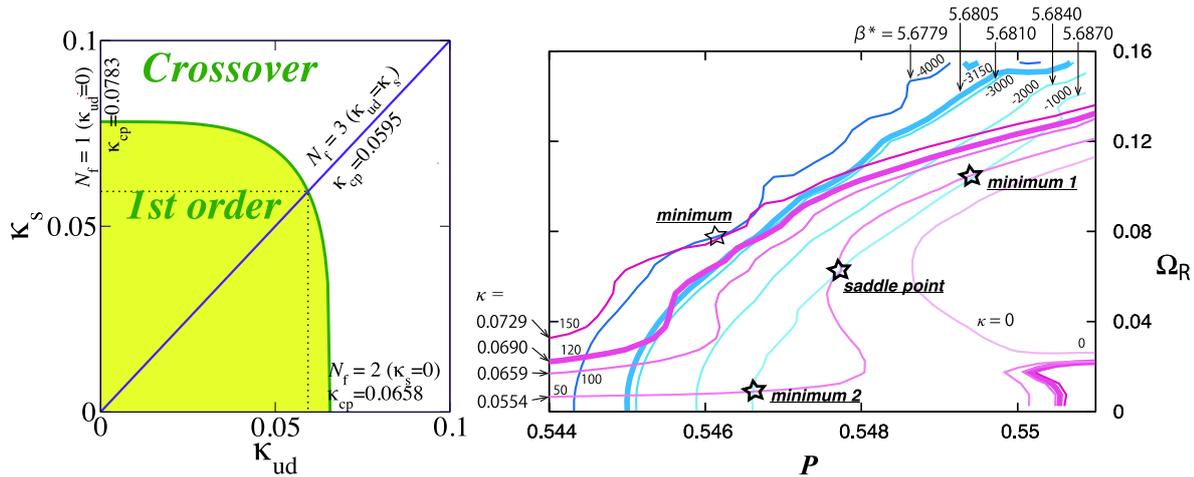


図 5: 重クォーク領域における $N_f = 2 + 1$ QCD の有限温度相構造の研究。(左) 密度ゼロの場合の、有限温度相転移次数のクォーク質量依存性。横軸は ud クォーク質量の逆数、縦軸は s クォーク質量の逆数を表し、緑の領域は有限温度相転移が 1 次となる範囲を表す。(右) 有限密度の場合の有効ポテンシャルの温度、およびクォーク質量依存性。赤い線と青い線は、それぞれ、有効ポテンシャルの物理量 P (プラケット) と Ω_R (ポリアコフ・ループ) に関する微分がゼロになる場所を表す。赤い線と青い線が交差する点で、有効ポテンシャルの極小点や鞍点の位置がわかる。極小点が二つある場合は相転移が 1 次で、一つになるとクロスオーバーになる。

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 などが消失する兆候は確認できなかった (論文 15)。

(4) 有限密度 QCD

有限密度 QCD 研究のためには、非ゼロ化学ポテンシャル領域での格子 QCD 計算が必要となる。しかし、化学ポテンシャルの導入は「符号問題」を引き起こしてしまう。そのような困難を克服すべく、宇川、藏増らは、符号問題の解

析的研究を行った。具体的には、クォーク行列式を巻き付き展開法を用いて表すことにより、符号問題の根源である複素位相を解析的に表現し、さらに重質量展開法を適用することによって位相の上限値が格子の空間体積に比例し、時間方向の伸張とともに指数関数的に抑制されることを見出した。この解析的結果を検証するために、格子サイズ $6^3 \times N_T$ の 4 フレーバー QCD において N_T を変えることにより、位相がどのように変化するかを調べた結果が図 6 にまとめられている。化学ポテンシャル μ を固定すれば、 N_T を大きくするほど位相 θ の大きさが小さくなることを見て取れる (論文 46)。今後、巻き付き展開法を用いて相転移のオーダーパラメータであるクォーク数密度を計算し、相転移の次数や相転移温度を決定する計画である。

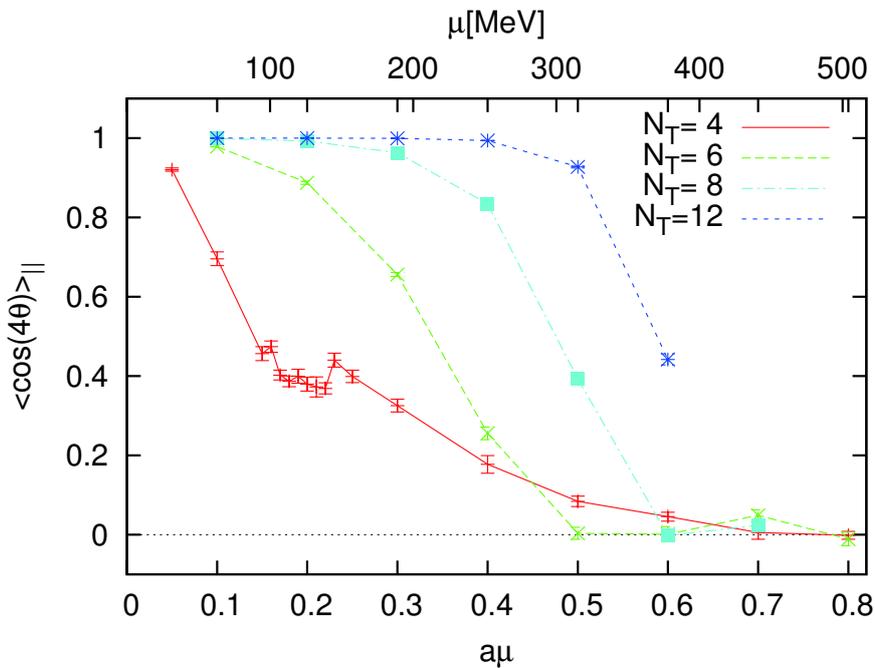


図 6: 4 フレーバー QCD における位相の化学ポテンシャル依存性。

(5) 繰り込み定数と改良係数の決定

$K \rightarrow \pi\pi$ 崩壊過程の行列要素を繰り込むために必要な繰り込み定数を、Iwasaki gauge action と clover 項により改良された Wilson fermion action の組み合わせについて計算した (論文 37,49)。

次世代の京コンピューターにおける数値計算で採用すべき action のパラメータ探索の一環として、smeared link を用いた Wilson fermion action において、clover 項の改良パラメータ c_{sw} の決定を行った。今回は手始めとして、smearing の回数は一回で、smearing parameter は $\rho = 0.1, 0.2$ を採用した (図 7)。

(6) カイラル対称性を持つクォーク作用を用いた QCD (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 $N_f = 2+1$

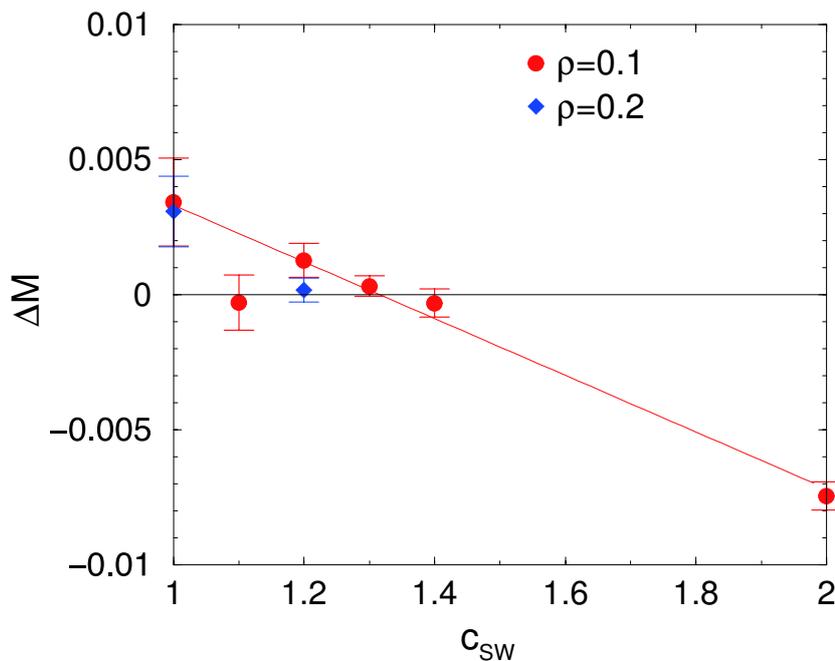


図 7: 改良パラメータ c_{SW} の決定。 $\Delta M = 0$ となる点として c_{SW} を求める。

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 2)、核子中のストレンジクォークの成分量の決定 (論文 6)、カイラル凝縮の決定 (論文 20) などを行った。また、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 31)。

(7) ILDG/JLDG の構築と運用

国内の格子 QCD 研究者のデータグリッド Japan Lattice Data Grid (JLDG) の利便性・可用性の向上のため、吉江、浮田らは、以下の改良を行った。(1) 既設拠点のサーバ増設 (筑波大、KEK、大阪大、広島大)、(2) 拠点の新設 (東京大、名古屋大)、(3) JLDG ファイルシステムマウント機能の実装 (筑波大)、(4) 管理機器の 2 重化、(5) 管理・運用・保守マニュアルの作成 (外注)。

HPCI 戦略プログラム分野 5 の研究の一部として推進している格子 QCD 共通コード開発と ILDG(International Lattice Data Grid) の連携に関し、次の検討を行った。(1) ILDG フォーマットの配位入出力、(2) エジンバラ大学と共同で開発した Metadata Capture システムの利用

【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。この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、全ての外線がボゾンの場合の 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 50,51)

今年度の研究では、これらの結果を外線にフェルミオンを含む場合について拡張し、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 54)。

コンタクトタームの問題は、Witten 型の開弦の場の理論の場合にも存在する。石橋は村上(岡山光量子研)とともに、次元正則化を Witten 型の開弦の場の理論にも適用できることを示した(論文 57)。

(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／光的な経路からなるウィルソンループは、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。

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(京都大基礎物理学研究所)と共に、このような極小曲面が homogeneous sine-Gordon 模型と呼ばれる 2 次元可解模型の熱力学的ベーテ方程式で記述されることを示した。また、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、強結合 6 点散乱振幅／光的ウィルソンループに対する正多角形ウィルソンループ周りの解析的な展開式を導いた(論文 52)。

さらに、 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)の関係をを用いることにより、運動量が 2 次元空間に制限される場合の $2n$ 点振幅に対して、正多角形ウィルソンループ周りの解析的展開式が得られることを示した。この結果を 2 ループの摂動計算と比べることにより、適切に規格化された散乱振幅／ウィルソンループの展開式が、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、超対称ゲージ理論の散乱振幅／ウィルソンループを統制する未知の機構の可能性を示唆している(論文 53,55)。

(3) 弦理論における共形界面

共形場理論において、共形不変性を保つ世界面中の界面／欠陥は共形界面と呼ばれる。共形界面は、弦理論のソリトン(D ブレイン)や境界のある物性系を記述する共形境界の自然な拡張であり、弦理論や物性系の研究で興味深い役割を果たすと期待される。しかしながら、共形界面を弦理論に埋め込む際には、ユニタリ性の問題が生じる可能性が指摘されていた。

佐藤は、物理的な空間でのユニタリ性が明白な Green-Schwarz 形式を用いて、共形界面に対応する、超対称性を保つ界面をタイプ II 超弦理論において構成した。その結果、この界面が T-双対性を生成し T-双対性の Buscher 則を再現すること、界面が D ブレインの空間に作用し D ブレインの変換を引き起こすことを示した。また、界面による Casimir エネルギーを求めた (論文 56)。

【3】 高エネルギー・ハドロン物理

(八田佳孝、西山陽大)

(1) 高エネルギー重イオン衝突直後の時間発展

重イオン衝突で生成されるグルオン物質がどのように熱平衡に達するかはクォークグルオンプラズマ物理の最重要問題の一つである。八田と西山はカラーグラス凝縮に基づいた初期条件から出発し、2 粒子既約形式 (2PI formalism) を用いることによって古典場と量子揺らぎの結合した方程式系を導いた (論文 62)。これは従来の古典統計近似と異なり、ボーズアインシュタイン分布を持つ量子熱平衡を実現することができる。

(2) 陽子スピンの分解

陽子のスピン 2 分の 1 がクォークとグルオンのヘリシティと軌道角運動量にどのように分解されるのかは QCD の基本的な問題の一つである。ところが角運動量各成分の演算子による定義に関してさまざまな問題が知られており、満足のいく分解はなかった。これに対して数年前に Chen たちのグループが全く新しい分解方法を提案した。八田は彼らの方法を拡張し、まず Chen たちのグルオンヘリシティが実験で測られる ΔG と同定できることを示し (論文 59)、軌道角運動量演算子のゲージ不変かつ交換関係を満たす定義を導いた (論文 63)。

(3) 陽子衝突による楕円形フロー

LHC の陽子衝突実験において、終状態の生成粒子数が原子核衝突に匹敵するほど高いイベントが観測された。このようなイベントでは、原子核衝突でみられるような生成粒子の集団的振る舞いが起こることが期待されている。八田は Avsar, Flensburg, Ollitrault, 植田らとともに、RHIC でよく知られる楕円形フローと呼ばれる集団運動が陽子衝突で起こる可能性を研究した。BFKL 発展を組み込む最先端のイベントジェネレーター (DIPSY) を用いて衝突のシミュレーションを行い、衝突時における eccentricity と楕円形フローの大きさを評価した。さらに実験での観測可能性として、4 粒子角度相関を見ることを提案した (論文 60)。

(4) 高エネルギー重イオン衝突実験で発生したグルオン場の熱化過程

RHIC 及び LHC の高エネルギー重イオン衝突実験で発生したグルオン場の熱化に至る過程では、Boltzmann 方程式による理論が流体模型の初期条件と矛盾しており、単純なパートン描像に基づくアプローチを超えた手段が必要とされ

ている。そこで西山らは、場の量子論に基づくアプローチとして、Kadanoff-Baym(KB) 方程式に代表される方法を提案した。まず、スカラー $O(N)$ 模型において Kadanoff-Baym 方程式を解き、エントロピー生成と熱平衡化が実現することを数値計算で確かめた (論文 58)。

次にゲージ理論において、膨脹のない系で KB 方程式を解き、熱平衡化過程を追跡した。そこでは、熱化の時間スケールが流体模型の初期条件と矛盾しないという結果を得た。

〈論文〉

1. Oanh Hoang Nguyen, Ken-Ichi Ishikawa, Akira Ukawa, Naoya Ukita, Electromagnetic form factor of pion from $N_f = 2 + 1$ dynamical flavor QCD, JHEP 1104 (2011) ref.122, pp.1-23
2. JLQCD and TWQCD Collaborations: H. Fukaya, S. Aoki, T.W. Chiu, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi and N. Yamada, Determination of the chiral condensate from QCD Dirac spectrum on the lattice, Phys. Rev. D 83, No.7 (2011) ref.074501, pp.1-16
3. HAL QCD Collaboration: Takashi Inoue, Noriyoshi Ishii, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki, Bound H-dibaryon in Flavor SU(3) Limit of Lattice QCD, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) ref.162002, pp.1-4
4. N. Ishii, Nuclear forces from lattice QCD, AIP Conf. Proc. 1355 (2011) 206-213
5. Kazuyuki Kanaya, Lattice results on the phase structure and equation of state in QCD at finite temperature, AIP Conference Proceedings 1343 (2011) 57-62
6. JLQCD collaboration: K. Takeda, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki and T. Onogi, Nucleon strange quark content from two-flavor lattice QCD with exact chiral symmetry, Phys. Rev. D 83, No.11 (2011) ref.114506, pp.1-14
7. Keiko Murano, Noriyoshi Ishii, Sinya Aoki, Tetsuo Hatsuda, Nucleon-Nucleon Potential and its Non-locality in Lattice QCD, Prog. Theor. Phys. 125, No.6 (2011) 1225-1240
8. Sinya Aoki and Hidenori Fukaya, Interpolation between the ϵ and p regimes, Phys. Rev. D 84, No.1 (2011) ref.014501, pp.1-27
9. HAL QCD Collaboration: Sinya Aoki, Noriyoshi Ishii, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Takashi Inoue, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura,

- Kenji Sasaki, Extraction of Hadron Interactions above Inelastic Threshold in Lattice QCD, Proc. Jpn. Acad., Ser.B 87, No.8 (2011) 509-571
10. WHOT-QCD Collaboration: H. Saito, S. Ejiri, S. Aoki, T. Hatsuda, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Ohno, T. Umeda, Phase structure of finite temperature QCD in the heavy quark region, Phys. Rev. D 84, No.5 (2011) ref.054502, pp.1-9
 11. T. Yamazaki, Y. Kuramashi, A. Ukawa, for the PACS-CS Collaboration, Two-Nucleon Bound States in Quenched Lattice QCD, Phys. Rev. D 84, No.5 (2011) ref.054506, pp.1-14
 12. T. Yamazaki, Y. Kuramashi, A. Ukawa, for PACS-CS Collaboration, Calculation of Helium nuclei in quenched lattice QCD, AIP Conf. Proc. 1374 (2011) 627-630
 13. PACS-CS Collaboration: Y. Namekawa, S. Aoki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, T. Izubuchi, K. Kanaya, Y. Kuramashi, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yoshié, Charm quark system at the physical point of 2+1 flavor lattice QCD, Phys. Rev. D 84, No.7 (2011) ref.074505, pp.1-11
 14. Sinya Aoki, for HAL QCD Collaboration, Hadron interactions in lattice QCD, Progress in Particle and Nuclear Physics 66, No.4 (2011) 687-726
 15. WHOT-QCD Collaboration: 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 84, No.9 (2011) ref.094504, pp.1-13
 16. PACS-CS Collaboration: S. Aoki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, K. Kanaya, Y. Kuramashi, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yamazaki, T. Yoshié, ρ Meson Decay in 2+1 Flavor Lattice QCD, Phys. Rev. D 84, No.9 (2011) ref.094505, pp.1-12
 17. Takashi Inoue, Sinya Aoki, Takumi Doi, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura and Kanji Sasaki (HAL QCD Collaboration), Two-Baryon Potentials and H-Dibaryon from 3-flavor Lattice QCD Simulations, Nucl. Phys. A 881 (2012) 28-43
 18. Y. Nakamura, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, T. Sakurai, H. Tadano, Modified Block BiCGSTAB for Lattice QCD, Comput. Phys. Commun. 183, No.1 (2012) 34-37
 19. Taro Kimura, Shota Komatsu, Tatsuhiro Misumi, Toshifumi Noumi, Shingo Torii, Sinya Aoki, Revisiting symmetries of lattice fermions via spin-flavor representation, JHEP 1201 (2012) ref.048, pp.1

20. JLQCD Collaboration: H. Fukaya, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, H. Matsufuru, J. Noaki, T. Onogi, N. Yamada, Chiral interpolation in a finite volume, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.101, pp.1-7
21. Takashi Inoue, for HAL QCD Collaboration, Bound H-dibaryon from Full QCD Simulations on the Lattice, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.124, pp.1-7
22. N. Ishizuka, for PACS-CS Collaboration, ρ meson decay width from 2+1 flavor lattice QCD, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.125, pp.1-7
23. Y. Namekawa, for the PACS-CS collaboration, Charm quark system on the physical point in 2+1 flavor lattice QCD, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.132, pp.1-7
24. N. Ukita, for the PACS-CS Collaboration, 1+1+1 flavor QCD+QED simulation at the physical point, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.144, pp.1-7
25. T. Yamazaki, for the PACS-CS Collaboration, Bound state of two-nucleon systems in quenched lattice QCD, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.147, pp.1-7
26. Takumi Doi, for HAL QCD Collaboration, Three-Nucleon Forces explored by Lattice QCD Simulations, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.151, pp.1-7
27. Yoichi Ikeda, for HAL QCD Collaboration, S-wave meson-baryon potentials with strangeness from Lattice QCD, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.159, pp.1-7
28. N. Ishii for HAL QCD Collaboration, Time-dependent effective Schroedinger equation for lattice nuclear potentials , PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.160, pp.1-7
29. Hidekatsu Nemura, for HAL QCD Collaboration, Baryon-baryon interaction of strangeness $S = -1$ sector, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.167, pp.1-7
30. K. Sasaki, for HAL QCD Collaboration, Strangeness $S = -2$ baryon-baryon interactions from lattice QCD, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.173, pp.1-7
31. Guido Cossu, Sinya Aoki, Shoji Hashimoto, Takashi Kaneko, Hideo Matsufuru, Jun-ichi Noaki, Eigo Shintani, Topological susceptibility and axial symmetry at finite temperature, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.188, pp.1-7
32. WHOT-QCD collaboration: Y. Nakagawa, S. Ejiri, S. Aoki, K. Kanaya, H. Ohno, H. Saito, T. Hatsuda, T. Umeda, Histogram method in finite density QCD with phase quenched simulations, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.208, pp.1-7

33. H. Ohno, U.M. Heller, F. Karsch, S. Mukherjee, Eigenvalue distribution of the Dirac operator at finite temperature with (2+1)-flavor dynamical quarks using the HISQ action, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.210, pp.1-7
34. WHOT-QCD collaboration: H. Saito, S. Aoki, K. Kanaya, H. Ohno, S. Ejiri, Y. Nakagawa, T. Hatsuda, T. Umeda, Finite density QCD phase transition in the heavy quark region, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.214, pp.1-7
35. JLQCD Collaboration: T. Kaneko, S. Aoki, G. Cossu, X. Feng, H. Fukaya, S. Hashimoto, J. Noaki, T. Onogi, Kaon semileptonic form factors in QCD with exact chiral symmetry, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.284, pp.1-7
36. Keiko Murano, for the HALQCD Collaboration, Nuclear forces in the parity odd sector and the LS forces, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.319, pp.1-7
37. Yusuke Taniguchi, Renormalization factor of four fermi operators with clover fermion and Iwasaki gauge action, PoS (LATTICE 2011) (2012) ref.331, pp.1-7
38. WHOT-QCD collaboration: S. Ejiri, S. Aoki, T. Hatsuda, K. Kanaya, Y. Nakagawa, H. Ohno, H. Saito, T. Umeda, Numerical study of QCD phase diagram at high temperature and density by a histogram method, Cent. Eur. J. Phys. CPOD 2011 (2012) 1-4
39. HAL QCD Collaboration: Takumi Doi, Sinya Aoki, Tetsuo Hatsuda, Yoichi Ikeda, Noriyoshi Ishii, Keiko Murano, Hidekatsu Nemura, Kenji Sasaki, Exploring Three-Nucleon Forces in Lattice QCD, Prog. Theor. Phys. 127, No.4 (2012) 723-738
40. Takumi Doi for HAL QCD Collaboration, Exploring Three Nucleon Forces in Lattice QCD, AIP Conf. Proc. 1388 (2011) 636-639
41. WHOT-QCD Collaboration: T. Umeda, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, K. Kanaya, Y. Maezawa, H. Ohno, Equation of state in 2+1 flavor QCD with improved Wilson quarks by the fixed scale approach, Phys. Rev. D (2012) in printing
42. 齋藤華, 朴泰祐, 金谷和至, 埴敏博, 佐藤三久, スクリプト言語 Xcrypt による格子 QCD シミュレーションの最適化, 情報処理学会研究報告 2011-HPC-130(58) (2011) 1-6
43. 齋藤華, 朴泰祐, 金谷和至, 埴敏博, 佐藤三久, スクリプト言語 Xcrypt による格子 QCD シミュレーションの自動化, 2012 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 (HPCS2012) 論文集 (2012) 7-14
44. Satoru Ueda and Sinya Aoki, Chiral perturbation theory for twisted mass QCD at small quark mass, arXiv:1109.0073

45. Takashi Inoue, for HAL QCD Collaboration, Bound H-dibaryon in the Flavor SU(3) Limit from a Full QCD Simulation on the Lattice, arXiv:1109.1620, to be published in the proceedings of PANIC 2011
46. Shinji Takeda, Yoshinobu Kuramashi and Akira Ukawa, On the phase of quark determinant in lattice QCD with finite chemical potential, arXiv:1111.6363
47. Sinya Aoki, Janos Balog and Peter Weisz, Short distance repulsion in 3 nucleon forces from perturbative QCD, arXiv:1112.2053
48. WHOT-QCD Collaboration: Y. Maezawa, T. Umeda, S. Aoki, S. Ejiri, T. Hatsuda, K. Kanaya and H. Ohno, Free energy of static quarks and Debye screening mass in 2+1-flavor lattice QCD with Wilson quark action based on fixed-scale approach, arXiv:1112.2756
49. Yusuke Taniguchi, Perturbative renormalization factors of four-quark operators for improved Wilson fermion action and Iwasaki gauge action, JHEP 1204, ref.143 (2012) pp.1-34
50. N. Ishibashi and K. Murakami, Light-cone Gauge String Field Theory and Dimensional Regularization, Prog. Theor. Phys. Suppl. 188 (2011) 9-18
51. K. Murakami and N. Ishibashi, Amplitudes in Noncritical Dimensions and Dimensional Regularization, Prog. Theor. Phys. Suppl. 188 (2011) 19-28
52. Yuji Satoh, Gauge/string duality and thermodynamic Bethe ansatz equations, RIMS Kokyuroku Bessatsu B28 (2011) 171-192
53. Y. Hatsuda, K. Ito, K. Sakai and Y. Satoh, g-functions and gluon scattering amplitudes at strong coupling, JHEP 1104 (2011) ref.100, pp.1-45
54. N. Ishibashi and K. Murakami, Spacetime Fermions in Light-cone Gauge Superstring Field Theory and Dimensional Regularization, JHEP 1107 (2011) ref.090, pp.1-24
55. Y. Hatsuda, K. Ito and Y. Satoh, T-functions and multi-gluon scattering amplitudes, JHEP 1202 (2012) ref.003, pp.1-34
56. Yuji Satoh, On supersymmetric interfaces for string theory, JHEP 1203 (2012) ref.072, pp.1-21
57. N. Ishibashi and K. Murakami, Witten's string field theory in noncritical dimensions, UTHEP-633.
58. A. Nishiyama and A. Ohnishi, Kadanoff-Baym Approach to Entropy Production in $O(N)$ Theory with Next-to-Leading Order Self-Energy, Prog. Theor. Phys. 126, No.2 (2011) 249-267

59. Y. Hatta, Gluon polarization in the nucleon demystified, Phys. Rev. D 84, No.4 (2011) ref.041701 (R), pp.1-4
60. E. Avsar, C. Flensburg, Y. Hatta, J.-Y. Ollitrault, T. Ueda,, Eccentricity and elliptic flow in proton-proton collisions from parton evolution, Phys. Lett. B 702 (2011) 394-397
61. E. Avsar¹, Y. Hatta, C. Flensburg, J.-Y. Ollitrault and T. Ueda, Eccentricity and elliptic flow in pp collisions at the LHC, J. Phys. G 38, No.12 (2011) ref.124053, pp.1-4
62. Y. Hatta and A. Nishiyama, Towards thermalization in heavy-ion collisions: CGC meets the 2PI formalism, Nucl. Phys. A 873 (2012) 47-67
63. Y. Hatta, Notes on the orbital angular momentum of quarks in the nucleon, Phys. Lett. B 708 (2012) 186-190

〈著書・総説等〉

1. 宇川 彰

岩波講座「計算科学 2 計算と宇宙」第1章「はじめに - 宇宙、天文学における計算の役割とは」、第2章「宇宙の構成要素と宇宙の歴史」岩波書店 (2012)

2. 青木 慎也

岩波講座「計算科学 2 計算と宇宙」第3章「時空格子上のクォークとグルオンからハドロンへ」岩波書店 (2012)

3. 青木 慎也

日本物理学会誌 特集 次世代スーパーコンピュータ「京」：動き出した大型プロジェクトの全体像、「戦略分野5：物質と宇宙の起源と構造-分野融合研究を目指して-」, vol.66, No.7 (2011)

〈学位論文〉

[修士論文]

1. 趙 栄貴

「格子ゲージ理論におけるオーバーラップ・フェルミオンの局所性について」

2. 山田 真徳

「Lattice QCD による di- Ω state の存在可能性の探求」

3. 齋藤 華

「スクリプト言語 Xcrypt による格子 QCD シミュレーションにおけるパラメータサーチ」
(デュアル ディグリー プログラム：システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻)

〈研究成果発表（講演）〉

[国際会議]

1. S. Aoki 「Nuclear Force from Quarks and Gluons」 (招待講演) ,
“Japan Days” Colloquium (The 150th anniversary of the Friendship Treaty between Japan and Germany) (Univ. Wuppertal, Wuppertal, Germany , May 2, 2011)
2. Akihiro Nishiyama 「Kadanoff-Baym Theory for Thermalization of Gluonic Matter」 ,
International Conference on Ultra Relativistic Nucleus Nucleus Collisions (Quark Matter 2011) (Annecy, France, May 23-28, 2011)
3. Y. Hatta 「Eccentricity and elliptic flow in pp collisions at the LHC」 ,
International Conference on Ultra Relativistic Nucleus Nucleus Collisions (Quark Matter 2011) (Annecy, France, May 23-28, 2011)
4. Y. Hatta 「Relation between e^+e^- annihilation and high energy scattering」 (招待講演) ,
ECT* workshop (Trento, Italy, May 30-June 2, 2011)
5. H. Ohno 「A variational study on charmonia at finite temperature in lattice QCD」 (招待講演) ,
Workshop on ”Quarkonium Production in Elementary and Heavy Ion Collisions” (Brookhaven National Laboratory, NY, USA, June 6-18, 2011)
6. Yuji Satoh 「g-functions and gluon scattering amplitudes at strong coupling」 ,
35th Johns Hopkins workshop on AdS/CFT and its applications (Eotvos University, Budapest, Hungary, June 22-24, 2011)
7. H. Ohno 「Eigenvalue distribution of the Dirac operator at finite temperature with (2+1)-flavor dynamical quarks using the HISQ action」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011) (The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
8. H. Saito 「Finite density QCD phase transition in the heavy quark mass region」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011) (The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, July 11-16, 2011)

9. N. Ukita 「1+1+1 flavor QCD+QED simulation at the physical point」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011)
(The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
10. Y. Namekawa 「Charm quark system on the physical point in 2+1 flavor lattice QCD」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011)
(The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
11. N. Ishizuka 「Rho meson decay width from 2+1 flavor lattice QCD」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011)
(The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
12. K. Sasaki (for HAL QCD Collaboration) 「Strangeness S=-2 baryon-bayon interactions from lattice QCD」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011)
(The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
13. Y. Taniguchi 「Renormalization factor of four fermi operators with clover fermion and Iwasaki gauge action」 ,
The XXIX International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2011)
(The Village at Squaw Valley, Lake Tahoe, California, USA, Jul. 11-16, 2011)
14. K. Kanaya 「Phase Structure of QCD from the Lattice」 (招待講演) ,
International Workshop on Extreme QCD 2011 (XQCD 2011) (San Carlos, Mexico, July 18-20, 2011)
15. H. Saito 「Density of state method in heavy quark region at finite chemical potential」 ,
International Workshop on Extreme QCD 2011 (XQCD 2011) (San Carlos, Mexico, July 18-20, 2011)
16. Yuji Satoh 「Thermodynamic Bethe ansatz and analytic expansions of gluon scattering amplitudes at strong coupling」 ,
8th Bologna workshop on CFT and integrable models (Bologna University, Bologna, Italy, Sept. 12-15, 2011)
17. Nobuyuki Ishibashi 「Dimensional regularization of Witten's OSFT」 ,
String Field Theory 2011 (Conference Center Vila Lanna of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic, Sept. 20-24, 2011)
18. T. Yoshie 「Status Report: JLDG」 ,
17th ILDG workshop, (TV conference hosted by INFN, Italy, Sept. 23, 2011)
19. Y. Hatta 「Eccentricity and elliptic flow in pp collisions at the LHC」 ,
ISMD 2011 (宮島杜の宿, 広島, Sept. 26-30, 2011)

20. S. Aoki 「Lattice QCD with Wilson quarks and chiral perturbation theory—From introduction to recent topics—」 (招待講演) ,
ECT* Workshop “Chiral dynamics with Wilson fermions” (ECT*, Toronto, Italy, Oct. 24-28, 2011)
21. Y. Hatta 「Jets at strong coupling」 (招待講演) ,
2nd Workshop on Quarks and Hadrons under Extreme Conditions - Lattice QCD, Holography, Topology, and Physics at RHIC/LHC (慶応義塾大学 (日吉), 神奈川, Nov. 17-18, 2011)
22. Y. Namekawa 「Charm quark physics from lattice QCD」 ,
“Hadron Structure and Interactions” (RCNP, Osaka, Japan, Nov. 25-26, 2011)
23. Y. Hatta 「Towards thermalization in heavy-ion collisions」 (招待講演) ,
EMMI rapid reaction task force on Thermalization in non-abelian plasmas (Heidelberg, Germany, Dec. 12-14, 2011)
24. Y. Hatta 「Angular momentum in QCD」 (招待講演) ,
INT workshop “Orbital angular momentum in QCD” (Seattle, USA, Feb.6-17, 2012)
25. S. Aoki 「Future prospect of hadron physics from lattice QCD」 (招待講演) ,
Workshop on 'Future Prospects of Hadron Physics at J-PARC and Large Scale Computational Physics' (Ibaraki Quantum Beam Research Center, Tokai, Japan, Feb. 9-11, 2012)
26. S. Aoki 「Chiral Symmetry and eigenvalue density at Finite temperature」 (招待講演) ,
YIPQS-HPCI international molecule-type workshop on New-type of Fermions on the Lattice (京都大学基礎物理学研究所, 京都, Feb. 9-24, 2012)
27. H. Ohno 「Dirac Eigenvalue distribution at finite temperature with (2+1)-flavor dynamical quarks using the HISQ action」 ,
XLIII. Arbeitstreffen Kernphysik (Schleching, Germany, Feb. 16-23, 2012)
28. Y. Namekawa 「Charm quark physics from lattice QCD」 ,
Workshop on “Elucidation of New Hadrons with a Variety of Flavors” (Osaka University, Osaka, Japan, Feb. 20-21, 2012)

[国内学会、研究会]

1. 佐藤 勇二 「g-functions and gluon scattering amplitudes at strong coupling」 (招待講演) ,
第6回 日露ワーキングセミナー (東京工業大学, 東京, May 12, 2011)

2. 吉江 友照 「計算素粒子物理学データグリッド JLDG」,
gfarm セミナー (N T T コミュニケーションズプレゼンテーションルーム, June
20, 2011)
3. 滑川 裕介 「Charm quark system on the physical point in 2+1 flavor lattice
QCD」,
新学術領域「素核宇宙融合」×「新ハドロン」クロスオーバー研究会 (理化学
研究所計算科学研究機構, 神戸市, June 23-24, 2011)
4. 石塚 成人 「格子上のハドロン散乱」,
新学術領域「素核宇宙融合」×「新ハドロン」クロスオーバー研究会 (理化学
研究所計算科学研究機構, 神戸市, June 23-24, 2011)
5. 佐々木 健志 (for HAL QCD Collaboration) 「チャンネル結合を考慮した格子
QCD によるハイペロン間相互作用」,
新学術領域「素核宇宙融合」×「新ハドロン」クロスオーバー研究会 (理化学
研究所計算科学研究機構, 神戸市, June 23-24, 2011)
6. 佐々木 健志 (for HAL QCD Collaboration) 「格子 QCD による一般化核力の
研究」,
HPCI 戦略プログラム分野 5 「物質と宇宙の起源と構造」全体シンポジウム (秋
葉原コンベンションホール, July 27-29, 2011)
7. 齋藤華, 朴泰祐, 金谷和至, 埴敏博, 佐藤三久 「スクリプト言語 Xcrypt によ
る格子 QCD シミュレーションの最適化」,
2011 年並列/分散/協調処理に関するサマー・ワークショップ (SWoPP2011)
(かごしま県民交流センター, 鹿児島, July 27-29, 2011)
8. 西山 陽大, 八田 佳孝 「Kadanoff-Baym Approach to Thermalization of Gluonic
Matter」,
基研研究会 熱場の量子論とその応用 2 0 1 1 (京都大学基礎物理学研究所, 京
都, Aug. 22-24, 2011)
9. 八田 佳孝 「グルオンプラズマの非平衡発展について」,
基研研究会 熱場の量子論とその応用 2 0 1 1 (京都大学基礎物理学研究所, 京
都, Aug. 22-24, 2011)
10. 金谷 和至 「CP-PACS プロジェクトについて ～計算科学専用計算機開発に
おける物理屋の役割～」(招待講演),
三好甫先生記念計算科学シンポジウム (工学院大学新宿キャンパス, 東京, Sept.
10, 2011)
11. 藏増 嘉伸 「PACS-CS における素粒子物理学研究」(招待講演),
第 2 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム (筑
波大学, つくば市, Sept. 12-13, 2011)

12. 土井 琢身 「Exploring Three Nucleon Forces in Lattice QCD」 ,
日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学, 青森, Sept.16-19, 2011)
13. 石塚 成人 for PACS-CS Collaboration 「Rho meson decay from lattice QCD」 ,
日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学, 青森, Sept.16-19, 2011)
14. 滑川 裕介 for PACS-CS collaboration 「物理点における 2+1 フレーバー格子
QCD シミュレーションによるチャームクォーク系の研究」 ,
日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学, 青森, Sept.16-19, 2011)
15. 齋藤 華 for WHOT-QCD Collaboration 「クォーク質量が大きい領域での有限
密度 QGP 相転移」 ,
日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学, 青森, Sept.16-19, 2011)
16. 佐々木 健志 for HAL QCD Collaboration 「Lattice QCD study of baryon-
baryon interaction with strangeness $S=-2$ 」 ,
日本物理学会 2011 年秋季大会 (弘前大学, 青森, Sept.16-19, 2011)
17. 藏増 嘉伸 「基礎科学分野実問題における固有値解析エンジンの高性能利用技
術開発」 ,
並列固有値解析研究会 (伊香保温泉旅館 よろこびの宿 しん喜, 群馬県, Nov.
3-4, 2011)
18. 滑川 裕介 「Charm quark physics from lattice QCD」 ,
素核融合による計算基礎物理学の進展 (合歓の郷, 志摩市, 三重県, Dec. 3-5,
2011)
19. 佐々木 健志 (for HAL QCD Collaboration) 「Lattice QCD studies of strangeness
 $S=-2$ baryon-bayon interactions」 ,
素核融合による計算基礎物理学の進展 (合歓の郷, 志摩市, 三重県, Dec. 3-5,
2011)
20. 吉江 友照 「HEPnet-J/sc 報告」 ,
HEPnet-J ユーザー会 (近畿大学, Dec. 17-18, 2011)
21. 滑川 裕介 「Charm quark physics from lattice QCD」 ,
HPCI 研究会 「計数的手法による素粒子論研究の広がり」 (高エネルギー加速
器研究機構, つくば, Dec. 19-21, 2011)
22. 谷口 裕介 「Renormalization factor of four fermi operators with clover fermion
and Iwasaki gauge action」 ,
HPCI 研究会 「計数的手法による素粒子論研究の広がり」 (高エネルギー加速
器研究機構, つくば, Dec. 19-21, 2011)
23. 齋藤華, 朴泰祐, 金谷和至, 埴敏博, 佐藤三久 「スクリプト言語 Xcrypt に
よる格子 QCD シミュレーションの自動化」 ,

2012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 (HPCS2012)
(名古屋大学, 名古屋, 愛知, Jan. 24-26, 2012)

24. 藏増 嘉伸 「格子 QCD による原子核の構成」 (招待講演) ,
研究会「大規模計算による原子核研究の展開 -核子多体系を中心に-」 (理研, 和光市, Jan. 24-25, 2012)
25. 西山 陽大 「Thermalization of Gluonic Matter with the Kadanoff-Baym Approach」 ,
重イオン衝突と非平衡物理の理論的発展 (理研、和光, Feb. 18, 2012)
26. Yong-Gwi Cho, Shoji Hashimoto 「Locality of overlap fermions with fixed topology」 ,
mini-workshop on New-type of Fermions on the Lattice (京都大学基礎物理学研究所, Feb. 17, 2012)
27. 藏増 嘉伸 「大規模格子 QCD シミュレーションで探る 10^{-13}cm 」 (招待講演) ,
第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (シーサイドホテル 舞子ビラ神戸, 神戸市, Mar. 3-5, 2012)
28. 吉江 友照 「格子 QCD データグリッド JLDG」 ,
HPCI戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」全体シンポジウム (秋葉原コンベンションホール, Mar. 7-8, 2012)
29. 佐々木 健志 (for HAL QCD Collaboration), 「格子 QCD による一般化核力の研究」 ,
HPCI戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」全体シンポジウム (秋葉原コンベンションホール, Mar. 7-8, 2012)
30. Y. Namekawa 「Charm quark physics from lattice QCD」 ,
KEK Flavor Factory Workshop (KEK, Tsukuba, Japan, Mar. 8-10, 2012)
31. 大野 浩史 「2 + 1 フレーバー有限温度格子 QCD によるディラック固有値分布の研究」 ,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)
32. 齋藤 華 「クォーク質量が大きい領域での有限密度 QCD 相転移と複素位相の効果」 ,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)
33. 中川 義之 「ヒストグラム法を用いた格子計算による有限密度 QCD の研究」 ,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)
34. 八田 佳孝 「陽子スピンの分解について:グルオン偏極と軌道角運動量」 ,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)

35. 青木 慎也 「格子場計算共通コードシステムの開発と現状」,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)
36. 西山 陽大 「Kadanoff-Baym theory for thermalization of gluonic matter II」,
日本物理学会 第67回年次大会 (関西学院大学、西宮, Mar. 24-27, 2012)

〈受賞〉

1. 青木慎也、初田哲男、石井理修：
日本物理学会第17回論文賞 (2012年3月26日)、 “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 (arXiv:0909.5585[hep-lat])
2. 岩崎洋一前学長・筑波大学名誉教授：
2011年度素粒子メダル功労賞 (2011年9月)、「計算素粒子物理学の開拓」による。

〈国際会議・研究会の実施〉

1. 青木慎也 他,
新学術領域「素核宇宙融合」x「新ハドロン」クロスオーバー研究会 -多様な方法でせまるハドロン物理への挑戦- 主催
2011年6月23、24日、理化学研究所 計算科学研究機構、神戸 (参加者約60名)
2. 青木慎也 他,
新学術領域「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」/
H P C I戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」/京都大学基礎物理学研究所 主催 サマ-スクール「クォークから超新星爆発まで」-基礎物理の理想への挑戦-,
2011年8月4日-8日、京都大学 基礎物理学研究所、京都 (参加者約35名)
3. 金谷和至 他,
国際シンポジウム「Quarks and Hadrons under Extreme Conditions - Lattice QCD, Holography, Topology, and Physics at RHIC/LHC -」
2011年11月17-18日、慶應義塾大学 来往舎 (参加者 38名)
4. 青木慎也 他,
新学術領域「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」/
H P C I戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」主催シンポジウム
「素核宇宙融合による計算基礎物理学の進展 -マイクロとマクロのかけ橋の構築-」
2011年12月3日-5日、合歓の郷、志摩 (参加者約60名)

5. 蔵増嘉伸 他,
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
第三回 2011年6月8-9日、東京大学 理学部, 東京 (参加者約40名)
第四回 2012年1月11-12日 京都大学 基礎物理学研究所, 京都 (参加者約30名)
第五回 2012年2月27-28日 理化学研究所 仁科加速器研究センター、和光 (参加者約20名)
6. 青木慎也 他,
HPCI戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」全体シンポジウム,
2012年3月7、8日、秋葉原コンベンションホール、東京 (参加者約60名)

〈国内外の共同組織への参加〉

1. 計算基礎科学連携拠点
<http://www.jicfus.jp/jp/>
2. High Performance Computing Infrastructure (HPCI) 戦略プログラム
<http://www.jicfus.jp/field5/jp/>
3. 計算科学研究機構 (AICS)
<http://www.aics.riken.jp/>
4. International Lattice Data Grid (ILDG)
<http://ildg.sasr.edu.au/Plone>
5. Japan Lattice Data Grid (JLDG)
<http://www.jldg.org/jldg/>, <http://ws.jldg.org/QCDArchive/index.jsp>