

# 国際協力研究

## International Cooperation Research

### 高温・高密度原子核の研究

#### Study of Nucleus with High Temperature and High Density

代表研究者 延 與 秀 人

EN'YO, Hideto

(延與放射線研究室)

(Radiation Laboratory)

#### I. 米国ブルックヘブン国立研究所との国際研究協力

##### 1. RHIC を用いたスピン物理研究

研究担当者：延與，秋葉，市原，渡邊，竹谷，後藤，谷田，岡村，中川，東城 \*1，大西（宏）\*1，鳥井 \*1，四日市 \*2，清道 \*2，蓮子 \*2，Heuser \*2，Rykov \*2，狩野 \*2，今井 \*3，柴田 \*3，齋藤（直）\*4，栗田 \*4，佐藤（博）\*4，洞口 \*5，深尾 \*5，高野（淳）\*5，外川 \*6，岡田（裕）\*6，神原 \*7，青木 \*7（延與放射線研究室）；陣内，岡田（謙），田原 \*1，浅井 \*1，比江嶋 \*8（理研 BNL 研究センター）

1995 年度より，米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）の相対論的重イオン衝突型加速器（RHIC）にスピン偏極制御装置，偏極度測定装置，ミューオン測定装置等を組み込み，偏極陽子同士の超高エネルギー衝突実験を行っている。本研究は陽子スピンの起源をさぐることを目的としており，日米科学技術協定および日本国 MEXT-米国 DOE 間の包括的実施取決めの下で，理研-BNL の研究協力として実施している。2001 年 12 月 11 日に偏極陽子の 100 GeV までの加速に成功し，世界初の偏極陽子同士の衝突が達成された。

2001～2002 年度はビームに対し垂直な方向に偏極された陽子を用い，昨年度はビームと同方向に偏極された陽子を用いて実験を行った。2002 年度のデータから，超前方中性子生成において大きな左右非対称が発見された。これは理論的にも過去のいかなる実験からも予想外の現象で，核内クォークの横偏極分布との関連性において注目されている。この事実は直ちに衝突点でのスピンの向きを計測する測定器として応用され，昨年度の実験において実用化した。昨年度からは 90 度方向に生成される中性  $\pi$  中間子の生成ヘリシティ非対称度の測定を行った。これは本計画の第一の目標である，陽子内部のグルーオンの偏極度測定への第一歩である。すでに，グルーオン偏極に関しいくつかの理論モデルを棄却する成果を挙げていたが，本年度には新たなスピン偏極制御装置を導入し陽子の偏極度 45% を達成。これは中性  $\pi$  中間子の非対称度測定の精度を大きく向上させ，来年度直ぐに行う実験を成功に導く大きなステップとなった。

昨年度に設計製作した，常伝導パーシャルスネーク磁石は

現在進行中の RUN でも安定に動作しており，RHIC 前段加速器である AGS での偏極度は約 50% を記録している。この成功に加えて超電導型パーシャルスネークが近日中に AGS に導入される予定である。この超電導パーシャルスネークは磁場構造については常伝導とほぼ同じであるが高い磁場強度（3 T）を発生することが可能である。これによって最大スピン回転角も常伝導の 5% に対して 30% となり懸案であったイントリンシック減偏極共鳴の克服も視野に入る。しかし，この超電導スネークはスピン回転角が大きく入射粒子のスピン方向がスピン閉軌道に対して大きな角度を持ってしまうため，実際の運転では常伝導スネークによる閉軌道補正が不可欠であり，詳細な計算機シミュレーションを行っている。今回の RUN で実験的な基礎データを収集し，次の RUN での本格的な稼働を予定している。

PHENIX 検出器の性能をさらに向上させるため，シリコン・ヴァーテックス検出器（VTX）の開発を行っている。これには欧州原子核研究所（CERN）と共同で開発を進めるシリコン・ピクセル検出器と，BNL と共同で開発を進める片面二次元読み出し可能なシリコン・ストリップ検出器を用いる。

CERN でのピクセル検出器開発では，読み出しチップの Q/A がほぼ完了，センサーと読み出しチップをあわせた測定器ラダーの最初のものが間もなく完成する予定である。また，ピクセル読み出し用の ASIC，ピクセル読み出しバスの開発も順調に進んでいる。BNL ではストリップ測定器用の Q/A ファシリティーが完成し，ストリップ・センサーの量産前試作品のテストが行われている。また，ストリップ読み出し用の専用集積回路 SVX4 チップを購入した。

スピン物理の解析，シミュレーション等を目的とする計算センター：スピン物理 CCJ（RIKEN Computing Center in Japan）を理研和光キャンパスで運用している。CCJ の運用は PHENIX 実験開始と同時期の 2000 年 6 月より開始し，その規模は LINUX を用いた演算部分として 332 CPU を有し，CPU のクロック周波数合計は 373 GHz であったが，昨年度末の理研情報基盤センターへの PC クラスタ導入に伴い両者の融合的運用を始めることにより CCJ の演算能力は約 3 倍，クロック総和で 1000 GHz を超えるものとなった。データストレージ部分としては約 40 TB の

RAID Disk で構成された NFS サーバに加え、来年度直ぐの実験で発生する約 200 TB のデータをリアルタイムに輸送するためのバッファとして約 15 TB の増強を行った。またバックエンドには 1,200 TB のテープロボット装置を含む高性能階層型ストレージシステム (HPSS) を持つ。

\*1 基礎科学特別研究員, \*2 協力研究員, \*3 客員主管研究員, \*4 共同研究員, \*5 ジュニア・リサーチ・アソシエイト, \*6 技術研修生, \*7 研修生, \*8 訪問研究員

## 2. 理研 BNL 研究センター

理研 BNL 研究センター (略称 RBRC) は世界初の衝突型重イオン・偏極陽子衝突型加速器で行われる理研の実験的研究を支えるとともに、広く強い相互作用に関わる、理論的研究を推進するため、1997 年に設立された組織である。設立以降 2003 年 9 月までは、ノーベル賞受賞者であるコロンビア大学教授 Tsung-Dao Lee がセンター長を勤めた。理研の独立行政法人化に合わせ、それまでセンター長代理を勤めていた前 BNL 所長、Nicholas P. Samios をセンター長として迎えた。本研究センターは理論グループと実験グループからなる。理論グループは Lee 教授の退任に伴い、BNL 理論部の Larry McLerran をリーダーとして迎えた。実験グループは和光中央研究所延興放射線研究室主任研究員である延興秀人が勤めている。延興は副センター長の立場も兼ねる。

### (1) 理論研究グループ

研究担当者: Lee, McLerran, Baltz, 青木 (慎), Bass, Blum, Dawson, Gyulassy, Kretzer, 飯田, 出淵, 佐々木, Jeon, Mawhinney, 根本, 野秋, 太田, Petreczky, Shuryak, Vogelsang, Yuan, 山田, 山崎, 杉原 \*1, 池田 \*1, 平野 \*1, 八田 \*1, 土井 \*1 (理研 BNL 研究センター); 横谷 \*2, 橋本 \*2 (延興放射線研究室)

当研究グループは、自然界の基本的相互作用の 1 つである強い相互作用に関する現象をその基礎理論である「量子色力学 (QCD)」に基づいて様々な角度からの研究を進めている。主たる柱としては (i) 格子 QCD に基づく研究, (ii) 摂動論的 QCD に基づくスピン物理研究, (iii) 高温、高密度、高エネルギー状態下の QCD に関する研究、が挙げられる。運営の特徴として、当研究センターと米国、カナダおよび日本の各大学を兼務する「RHIC フィジックスフェロー制度」を導入しており、世界的な分野の発展と研究展開の多様性を推し進めている。現在の兼務機関は、BNL、コロンビア大学、MIT、ニューヨーク州立大学、イェール大学、イリノイ州立大学、カルフォルニア州立大学、アリゾナ大学、デューク大学、マックギル大学、金沢大学、筑波大学である。

### (i) 格子 QCD に基づく研究

当センターに設置した QCD 専用スーパーコンピュータ QCDSPP と最新鋭の QCDOC を用いて QCD の非摂動的効果が重要となるハドロン現象の研究を行っている。特に QCDSPP によって世界に先駆けて当センターで実用化された五次元格子上のドメインウォールフェルミオンを用いる方法はフレーバー対称性とカイラル対称性を同時に保つ系統誤差が非常に少ない優れた理論的性質を持ち、従来の方法の追従を許さない先端研究を可能にした。

旧来の計算においては主にクォークの量子的対生成・対消滅の効果を無視したクエンチ計算と呼ばれるユニタリ性を破った理論的枠組みの中で行われており、これが最大の系統誤差の源となっていた。当センターの格子 QCD グループでは過去 2 年間かけて u, d, クォークによる真空偏極の効果を完全に計算した QCD (full QCD) のシミュレーションに成功した。これはクォークとしてドメインウォールフェルミオンを用いた世界ではじめての研究成果である。

本年度はこのシミュレーションに基づくハドロンの質量,  $\pi$ , K 中間子の崩壊定数, 静的クォークポテンシャルへの真空偏極の影響, K 中間子の CP 非保存崩壊の計算, 弱電磁行列要素等の素粒子標準模型の検証と CP 対称性非保存の物理に関する計算をした。特に小林-益川による CP 非保存の物理の解明に欠かせないバグパラメータと呼ばれる K 中間子の弱電磁行列要素については我々の結果によって従来より系統誤差を大きく改善し、理論と実験共に大きなインパクトを与えつつある。またアイソベクタースカラー中間子 ( $a_0$ ) のユニタリ性が真空偏極の効果によってどのように回復するかを研究した。

上記の物理量をより細かい複数の格子間隔で計算し、クエンチ計算の範囲で有限格子間隔からくる系統誤差を調べた。ドメインウォールを用いると格子間隔による誤差は数パーセントしかないという興味深い結果が確認された。

その他にも u, d クォークの電荷の差を計算に取り入れたアイソスピン対称性の破れの物理、陽子の (スピン) 構造を QCD の第一原理に基づいて探る研究や、QCD における CP の謎の解明に必要な中性子の電気双極子, K 中間子のベータ崩壊振幅, 大統一理論の陽子崩壊振幅, ミューオン異常磁気能率, ハドロン形状因子等、標準理論を越えた物理を含む可能性を秘めた重要な量の計算が進行中である。

本年度まで稼働している計算機 QCDSPP は最高性能が 0.5 TFlops 級であったが、これを 20 倍凌駕する 10 TFlops 級の性能を持つ専用計算機 QCDOC が当センターによって開発され 2005 年 3 月現在ハードウェアの設置とオペレーティングシステムを含むソフトウェアの準備がほぼ完了した。ハドロンのエネルギースケールより軽い全ての u, d, s クォークの真空偏極の効果を取り入れたドメインウォールフェルミオンによる QCD のシミュレーションが既に開始され、現実世界のハドロン物理に迫るための数々の第一原理計算が予定されている。配位生成のシミュレーションに関しては当センターともう 1 つの有力な研究グループである UKQCD との間で共同研究を行うことになっている。

### (ii) 摂動論的 QCD に基づくスピン物理研究

RHIC のスピン物理の大きな目標の 1 つは核子中の偏極グルーオン密度の決定である。この目標のため  $\pi$  中間子, ジェット, 直接光子の生成など、グルーオンの密度に対して良い感度を持つ様々な過程に関して、摂動論的 QCD による精密計算を数多く行ってきた。最近 RHIC の PHENIX グループより、陽子陽子散乱において比較的大きな横運動量 ( $p_T = 1 \sim 4 \text{ GeV}$ ) を持った  $\pi$  中間子の生成過程での 2 重スピン非対称度の結果がはじめて発表された。この結果の誤差はまだ大きい、大きな負の値の非対称度を示す興味深いデータである。一方摂動論的 QCD に基づく横運動量に関して主要項までを考慮した計算では非常に小さな負の非対称度しか導き出し得ないことが、一般的な議論によ

て示せる。より精密な実験データがこの負の非対称度を確立すれば、QCDの摂動補正だけでなく、典型的スケールのべき補正も重要になるという新しい知見をもたらす可能性があり、この課題は特に重要である。

### (iii) 極限条件下でのQCDに関する研究

高温、高密度、高エネルギーといった極限条件における物質のQCDに基づく研究は、RHICで行われている相対論的重イオン衝突実験と緊密な関係がある。摂動論的QCD、統計物理、現象論、および、数値流体計算などの手法を用いて、「クォーク・グルーオン・プラズマ」の総合的理解に向けた研究を行っている。近年のRHICで得られた膨大な実験結果を統一的に理解するために、クォーク・グルーオン・プラズマ生成の起源、および作られた高温物質の時空発展に注目した解析を進めた。生成の起源としては、高エネルギーのハドロン全般に対する「カラーガラス凝縮」という統一的な描像が一層重要視されるようになった。この描像は、重イオン衝突だけでなく、非常にエネルギーの高いレプトン陽子深非弾性散乱にも応用されている。この描像を微視的に理解するべく、運動量空間におけるグルーオン分布の発展を記述する基礎方程式の解析が進められた。一方、相対論的重イオン衝突で作られた物質の時空発展を記述するために、流体力学とQCDパートンモデルを組み合わせたモデルに基づく数値計算を進めた。

またRHIC実験に関連する温度密度領域のみならず、より広い領域でQCDの平衡状態図を理解するための基礎的研究を行った。高密度領域におけるカラー超伝導相については、中性子星内部に存在する可能性をふまえて、相図、磁気応答、素励起に関して詳細な記述を展開した。低密度領域では、相転移臨界温度を有意にこえたクォーク・グルーオン・プラズマ中においてもなお、 $J/\psi$ などのハドロンが生き残る可能性が議論されている。

### (2) 実験グループ

研究担当者：延興、Bunce, Grosse-Perdekamp, Deshpande, Fields, Xie, Kawall, 金田, 陣内, 岡田(健), 田原<sup>\*1</sup>, 浅井<sup>\*1</sup>, Basilevsky<sup>\*3</sup>, 小川<sup>\*3</sup>, Li<sup>\*3</sup>, 神原<sup>\*6</sup>, 外川<sup>\*6</sup>, 深尾<sup>\*2</sup>, 洞口<sup>\*7</sup>, Gabbert<sup>\*7</sup>, 比江嶋<sup>\*8</sup>(理研BNL研究センター); 秋葉, 市原, 渡邊, 竹谷, 後藤, 谷田, 中川, 四日市<sup>\*5</sup>, 鳥井<sup>\*1</sup>, 栗田<sup>\*8</sup>, 齊藤(直)<sup>\*8</sup>(延興放射線研究室)

当研究グループは1998年度から発足し7年目を迎えた。米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)で稼働をはじめたRHICに設置した「素粒子対検出器」および「スピン偏極制御装置」を用いたスピン物理研究を進める現地拠点として、活動を進めている。研究の推進は実験遂行にとどまらず、理論実験共同セミナー、スピン物理のためのワークショップなども主催している。また効率の良い実験の遂行を可能とするため、加速器や他の実験グループにまたがった研究体制のなかでの中心的役割を担っている。

昨年度から本年度にかけてRHIC加速器内に水素イオンガスジェットターゲットおよびシリコン検出器からなる偏極度計を設置した。これは既にRHIC, AGSで成功を収めている偏極度計と同じくRHIC陽子ビームとターゲット原子とのCNI領域の弾性散乱現象を利用しているが、既存の偏極度計と違い、ターゲットとして高偏極させた陽子を用いている。ターゲット陽子の偏極度測定はBreit-rabi偏極度

計を用いて独立に精度1.8%で測定した。ビーム、ターゲット共に陽子なので、ターゲットの偏極精度と同程度の精度でビーム偏極度測定が可能となり、ビームの平均偏極度測定の絶対精度は2.6%に達した。既存のRHIC偏極度計はターゲットが固体なので高速測定が可能だが、絶対精度は不十分であった。新たに導入した偏極度計の測定結果を用いて絶対値補正を与え、高速かつ高精度なRHICビーム偏極度測定が可能になった。

また、スピン物理研究を進めるために不可欠なスピン依存フラグメンテーション関数の測定を、非偏極電子陽電子衝突型加速器であるKEKBファクトリー/Belle実験で行っている。非偏極のクォークからハドロンへの破碎過程を高精度で測定し、理論モデルとの一致を見た。スピン依存部分についての解析も進んでいる。

<sup>\*1</sup> 基礎科学特別研究員, <sup>\*2</sup> ジュニア・リサーチ・アソシエイト, <sup>\*3</sup> 客員研究員, <sup>\*4</sup> 訪問研究員, <sup>\*5</sup> 協力研究員, <sup>\*6</sup> 技術研究生, <sup>\*7</sup> 研修生, <sup>\*8</sup> 共同研究員

## I. International collaboration with Brookhaven National Laboratory, USA

### 1. Study of spin physics using RHIC

How is the spin of proton formed with 3 quarks and gluons? This is a very fundamental question in QCD, Quantum Chromo Dynamics. The RHIC Spin Project has been established as an international collaboration between RIKEN and Brookhaven National Laboratory (BNL), to solve this problem by colliding two polarized protons for the first time in history. This also extended the physics capability of RHIC, Relativistic Heavy Ion Collider in BNL. At RHIC, Quark Gluon Plasma (QGP) is to be created by colliding two gold nuclei, through which we can study the state of the early Universe just after the Big Bang. RHIC became operational in 1999, and up to now Au+Au and d+A collisions have been performed at the center of mass energy of 130 GeV/A and 200 GeV/A. In December 2001, polarized protons were successfully accelerated to 100 GeV, and collisions of transversely polarized protons were observed.

We gathered data with transversely polarized protons in 2002, and with longitudinally polarized protons in 2003. We have discovered large left-right asymmetry in the neutron production at a very forward angle from the 2002 data. This phenomenon is totally unexpected and may have a relation with the transversity distribution of quarks in the proton. This phenomenon was immediately applied to the local polarimeter at the PHENIX collision point to ensure the proton spin direction at the very moment of collision. From the 2003 run, we obtained the first helical asymmetry of the neutral pion production at 90 degrees. This measurement is the first step toward our primary goal of determining the proton spin structure. The data, although still limited, deviates significantly from theoretical models. Thanks to the new normal-conducting helical snake magnet launched in AGS in March 2004, the proton polarization reached 50% at the end of AGS and 45% at RHIC, which improves greatly for the helical asymmetry measurement of the neutral pion production in the forthcoming experiment.

The super-conducting helical snake magnet will soon be installed in AGS. This magnet has same magnetic struc-

ture as the normal one, but much more magnetic power (3 T), so it can rotate the proton spin by 30% as compared with 5% for the normal one.

To enhance the detector performance of PHENIX, we are currently developing a silicon vertex detector. We are developing silicon pixel detectors, in collaboration with CERN, and single-sided two-dimensional silicon strip detectors, in collaboration with BNL, as the major components of the silicon vertex detector.

The RIKEN-CCJ (PHENIX Computing Center in Japan) started operation in June 2000. This CPU farm consisted of 332 CPUs, and the total CPU performance reached 373 GHz in March 2004. Thanks to the cooperation of the RIKEN computer center, the performance improved by a factor of 3 (to over 1,000 GHz) this year. For the storage part, we installed about 15 new TB disks as the buffer for the large data transfer project, expected to exceed 200 TB in 2 months. We also have a hierarchical storage management system (HPSS) with a tape capacity of 1,200 TB.

## 2. RIKEN BNL Research Center (RBRC)

This center was established in 1997 to support the RIKEN activities at RHIC in BNL, and also to promote theoretical studies related to RHIC, i.e. theories of strong interaction. The center's first director was T.D. Lee (Columbia University), and in October 2003, the former director of BNL, N.P. Samios, succeeded to the post of director. The center consists of a theory group and an experimental group. Following the departure of T.D. Lee, L. McLerran (BNL) was appointed leader of the theory group. The experimental group leader is H. En'yo, Chief scientist of RIKEN in Wako, who also is an associate director of RBRC.

### (1) Theory Group

Research in the RBRC theory group focuses on a wide variety of phenomena caused by the strong interaction, one of the four fundamental interactions in nature. The strong interaction is described theoretically by Quantum Chromodynamics (QCD), and the research projects in the RBRC theory group aim to elucidate various phenomena brought about by the strong interaction from the principles of QCD. Major subjects of our research include studies (a) based on lattice QCD, (b) on spin physics based on perturbative QCD, and (c) on QCD in extreme conditions such as high temperature, high density or high energy. RBRC offers RHIC Physics Fellowships, allowing joint appointments with universities. These Fellowships enable a talented researcher to maintain a tenure track position at his/her university as well as a Fellow position at RBRC for a certain period of time. This system was established in order to increase the research potential of RBRC and to disseminate its research activities and results. At present, RBRC has cooperative agreements with BNL, Columbia University, Massachusetts Institute of Technology, the State University of New York at Stony Brook, Yale University, University of Illinois at Urbana-Champaign, the University of California at Los Angeles, the University of Arizona, Duke University, McGill University, Kanazawa University, and Tsukuba University.

### (2) Experimental Group

The experimental group of RBRC was established at BNL as an on-site base for spin physics research using RHIC. The group functions as the heart of the whole project, including spin experiments, accelerator researchers and theorists, by organizing workshops and coordinating spin activities.

In 2003 and 2004, we installed a new polarimeter consisting of a hydrogen ion gas jet target and silicon detectors in RHIC. This polarimeter takes longer to measure than the CNI polarimeter, but it can measure the proton polarization of RHIC beam to 2.6% of absolute precision because the proton in the gas jet is highly polarized and was independently confirmed in 1.8% precision by Breit-rabi polarimeter. As a result, we can speedily and precisely measure the polarization of protons in RHIC using both CNI and hydrogen ion gas jet polarimeters.

We are studying spin-dependent fragmentation functions, which are necessary to measure the transversity distribution of the proton. We measure these functions using the unpolarized electron-positron collision data from the Belle experiment at KEK B-factory (KEKB). We have confirmed that the unpolarized fragmentation function is strongly consistent with the theoretical models. The analysis for the spin dependent part is ongoing.

## Staff

### Head

Dr. Nicholas P. SAMIOS  
Dr. Tsung-Dao LEE (Director Emeritus)

### Deputy Head

Dr. Hideto EN'YO (Associate Director)

## Experimental

### Group Leader

Dr. Hideto EN'YO

### Deputy Group Leader

Dr. Gerry M. BUNCE

## Members

Dr. Yasuyuki AKIBA  
Dr. Junkichi ASAI\*<sup>1</sup>  
Dr. Abhay DESHPANDE\*<sup>2</sup>  
Dr. Douglas EDWARD FIELDS\*<sup>2</sup>  
Dr. Yuji GOTO  
Dr. Takashi ICHIHARA  
Dr. Osamu JINNOUCHI\*<sup>3</sup>  
Dr. Masashi KANETA\*<sup>3</sup>  
Dr. David KAWALL\*<sup>4</sup>  
Dr. Itaru NAKAGAWA  
Dr. Kensuke OKADA\*<sup>3</sup>  
Dr. Matthias GROSS PERDEKAMP\*<sup>2</sup>  
Mr. Tsuguchika TABARU\*<sup>1</sup>  
Dr. Atsushi TAKETANI  
Dr. Kiyoshi TANIDA  
Dr. Hisayuki TORII\*<sup>1</sup>  
Dr. Yasushi WATANABE  
Dr. Wei XIE\*<sup>4</sup>  
Dr. Satoshi YOKKAICHI

### Visiting Members

Dr. Alexander BAZILEVSKY (BNL)  
Mr. Yoshinori FUKAO (Kyoto Univ.)  
Dr. Dominik GABBERT (UiUC)  
Mr. Takuma HORAGUCHI (Tokyo Inst. Technol.)  
Mr. Nobuyuki KAMIHARA (Tokyo Inst. Technol.)  
Dr. Kazuyoshi KURITA (Rikkyo Univ.)  
Dr. Zheng Li (BNL)  
Mr. Ken'ichi NAKANO (Tokyo Inst. Technol.)  
Dr. Akio OGAWA (BNL)  
Dr. Naohito SAITO (Kyoto Univ.)  
Mr. Manabu TOGAWA (Kyoto Univ.)

### Theory

#### Group Leader

Dr. Larry MCLERRAN

#### Deputy Group Leader

Dr. Anthony J. BALTZ

### Members

Dr. Steffen A. BASS<sup>\*2</sup>  
Dr. Thomas BLUM<sup>\*2</sup>  
Dr. Christopher DAWSON<sup>\*4</sup>  
Dr. Takumi DOI<sup>\*1</sup>  
Dr. Yoshitaka HATTA<sup>\*1</sup>  
Dr. Tetsufumi HIRANO<sup>\*1</sup>  
Dr. Kei IIDA<sup>\*4</sup>  
Dr. Takashi IKEDA<sup>\*1</sup>  
Dr. Sangyong JEON<sup>\*2</sup>  
Dr. Stefan KRETZER<sup>\*3</sup>  
Dr. Alexander KUSENKO<sup>\*2</sup>  
Dr. Yukio NEMOTO<sup>\*3</sup>  
Dr. Jun-ichi NOAKI<sup>\*3</sup>  
Dr. Peter PETRECKZY<sup>\*4</sup>  
Dr. Shoichi SASAKI<sup>\*4</sup>  
Dr. Thomas SCHAEFER<sup>\*2</sup>  
Dr. Mikhail A. STEPHANOV<sup>\*2</sup>  
Dr. Takanori SUGIHARA<sup>\*1</sup>  
Dr. Werner VOGELSANG<sup>\*2</sup>  
Dr. Tilo WETTIG<sup>\*2</sup>  
Dr. Norikazu YAMADA<sup>\*3</sup>  
Dr. Takeshi YAMAZAKI<sup>\*3</sup>  
Dr. Feng YUAN<sup>\*3</sup>

### Visiting Members

Dr. Sinya AOKI (Tsukuba Univ.)  
Dr. Miklos GYULASSY (Columbia Univ., USA)  
Dr. Taku IZUBUCHI (Kanazawa Univ.)  
Dr. Robert L. JAFFE (Massachusetts Inst. Technol., USA)  
Dr. Robert MAWHINNEY (Columbia Univ., USA)  
Dr. Edward SHURYAK (State Univ. New York, Stony Brook, USA)

Dr. Shigemi OHTA (KEK)  
Dr. Koichi HASHIMOTO (Kanazawa Univ.)  
Dr. Hiroshi YOKOYA (Hiroshima Univ.)  
Dr. Konstantinos ORGINOS (Massachusetts Inst. Technol., USA)

### Administration

Ms. Pamela ESPOSITO (Secretary)  
Ms. Rae GREENBERG (Assistant)  
Ms. Tammy Anne HEINZ (Secretary)  
Ms. Taeko ITO (Secretary)

### Administrative Manager

Mr. Kiyofumi TSUTSUMI

### Deputy Administrative Manager

Mr. Jun NAKAMURA

---

<sup>\*1</sup> Special Postdoctoral Researcher

<sup>\*2</sup> RHIC Physics Fellow

<sup>\*3</sup> Research Associate

<sup>\*4</sup> RIKEN BNL Fellow

---

### 誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) \*印は査読制度がある論文

Goto Y. and PHENIX Collaboration: "Prospects of the gluon polarization measurement at PHENIX", AIP Conf. Proc. **675**, 493–503 (2003). \*

Goto Y. and PHENIX Collaboration: "Neutral pion measurements in polarized proton collisions from PHENIX at RHIC", Nucl. Phys. A **721**, 360c–363c (2003). \*

Doi T., Kondo Y., and Oka M.: "Meson-baryon couplings from QCD sum rules", Phys. Rep. **398**, 253–279 (2004). \*

Kohama A., Iida K., and Oyamatsu K.: "Nuclear radius deduced from proton diffraction by a black nucleus", Phys. Rev. C **69**, 064316-1–064316-4 (2004). \*

Matsuura T., Iida K., Hatsuda T., and Baym G.: "Thermal fluctuations of gauge fields and first order phase transitions in color superconductivity", Phys. Rev. D **69**, 074012-1–074012-10 (2004). \*

Ikeda T.: "Effect of memory on relaxation in a scalar field theory", Phys. Rev. D **69**, 105018-1–105018-10 (2004). \*

Doi T., Ishii N., Oka M., and Suganuma H.: "Thermal effects on quark-gluon mixed condensate  $g(\bar{q}\sigma_{\mu\nu}G_{\mu\nu}q)$  from lattice QCD", Phys. Rev. D **70**, 034510-1–034510-5 (2004). \*

Prelovsek S., Dawson C., Izubuchi T., Orginos K. N., and Soni A.: "Scalar meson in dynamical and partially quenched two-flavor QCD: lattice results and chiral loops", Phys. Rev. D **70**, 094503-1–094503-13 (2004). \*

Aoki S. and Bar O.: "Twisted mass QCD,  $O(a)$  improve-

- ment, and Wilson chiral perturbation theory”, *Phys. Rev. D* **70**, 116011-1–116011-14 (2004). \*
- Iida K., Matsuura T., Tachibana M., and Hatsuda T.: “Melting pattern of diquark condensates in quark matter”, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 132001-1–132001-4 (2004). \*
- Ishii N., Doi T., Iida H., Oka M., Okiharu F., and Suganuma H.: “Penta-quark anti-decuplet in anisotropic lattice QCD”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **140**, 269–271 (2005). \*
- Doi T., Ishii N., Oka M., and Suganuma H.: “The lattice QCD simulation of the quark-gluon mixed condensate  $g\langle\bar{q}\sigma_{\mu\nu}G_{\mu\nu}q\rangle$  at finite temperature and the phase transition of QCD”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **140**, 559–561 (2005). \*
- Ishii N., Doi T., Iida H., Oka M., Okiharu F., and Suganuma H.: “Pentaquark baryon in anisotropic lattice QCD”, *Phys. Rev. D* **71**, 034001-1–034001-11 (2005). \* (その他)
- Izubuchi T.: “ $B_K$  from two-flavor dynamical domain wall fermions”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **129/130**, 266–268 (2004).
- Izubuchi T.: “The electromagnetic splitting and  $g_\mu^{-2}$  light-by-light contribution”, *Proc. RIKEN BNL Res. Cen. Workshop* **68**, 99–104 (2004).
- Iida K., Baym G., Matsuura T., and Hatsuda T.: “Ginzburg-Landau approach to color superconductivity”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, No. 153, pp. 230–240 (2004).
- Oyamatsu K. and Iida K.: “Equation of state of nuclear matter, neutron rich nuclei in laboratories and pasta nuclei in neutron star crusts”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, No. 156, pp. 137–138 (2004).
- Iida K., Oyamatsu K., and Sarhan B. A.: “Deducing the density dependence of the symmetry energy from unstable nuclei”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, No. 156, pp. 139–140 (2004).
- Izubuchi T.: “Hadron spectrum and decay constant from  $N_F = 2$  domain wall QCD”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **140**, 237–239 (2005).
- Yamazaki T.: “Two-particle wave function in four dimensional Ising model”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **140**, 338–340 (2005).
- Hashimoto K. and Izubuchi T.: “Static  $\bar{Q}$ - $Q$  potential from  $N_f=2$  dynamical domain-wall QCD”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **140**, 341–343 (2005).
- [単行本・Proc.]  
(その他)
- Matsuura T., Hatsuda T., Iida K., and Baym G.: “Thermal phase transition of dense QCD”, *Proc. Int. Conf. on Color Confinement and Hadrons in Quantum Chromodynamics: Confinement 2003*, Wako, 2003–7, World Scientific, Singapore, pp. 346–357 (2004).
- Iida K., Oyamatsu K., and Sarhan B. A.: “Deducing the density dependence of the symmetry energy from unstable nuclei”, *Proc. Int. Symp. on A New Era of Nuclear Structure Physics (NENS03)*, Kurokawa-cho, Niigata Pref., 2003–11, World Scientific, Singapore, pp. 342–343 (2004).
- 頭 発 表 Oral Presentations  
(国際会議等)
- Goto Y.: “Transversity and transverse-spin asymmetry measurements at PHENIX”, 5th European Research Conf. on Electromagnetic Interactions with Nucleons and Nuclei (EINN 2003), Parallel Pre-Conf. Workshops B: Transversity, (Institute of Accelerating Systems and Applications), Athens, Greece, Oct. (2003).
- Hatta Y.: “Relation between the chiral and deconfinement phase transitions”, *Strong and ElectroWeak Matter 2004*, (University of Helsinki), Helsinki, Finland, June (2004).
- Izubuchi T.: “Hadron Spectrum and Decay Constants from  $N_F = 2$  Domain-Wall QCD”, 22nd Int. Symp. on Lattice Field Theory (LATTICE 2004), (Fermi National Accelerator Laboratory), Batavia, USA, June (2004).
- Hashimoto K. and Izubuchi T.: “Static  $\bar{Q}$ - $Q$  Potential from  $N_f=2$  Dynamical Domain-Wall QCD”, 22nd Int. Symp. on Lattice Field Theory (LATTICE 2004), (Fermi National Accelerator Laboratory), Chicago, USA, June (2004).
- Yamazaki T.: “Two-particle wave function in four-dimensional Ising model”, 22nd Int. Symp. on Lattice Field Theory (LATTICE 2004), Batavia, USA, June (2004).
- Iida K.: “Ginzburg-Landau approach to color superconductivity”, *University of Washington Institute for Nuclear Theory Program (INT-04-1): QCD and Dense Matter: From Lattices to Stars*, Seattle, USA, June (2004).
- Yamazaki T., Aoki S., Fukugita M., Ishikawa K., Ishizuka N., Iwasaki Y., Kanaya K., Kaneko T., Kuramashi Y., Okawa M., Ukawa A., and Yoshie T.: “ $I=2$  S-wave pion scattering phase shift with two flavor fullQCD”, *Meet. of the Division of Particles and Fields of the Am. Phys. Soc. (DPF2004)*, Riverside, USA, Aug. (2004).
- Izubuchi T.: “Lattice QCD with dynamical domain wall fermions”, *ILFT04: Lattice QCD simulations via Int. Res. Network*, (Univ. Tsukuba CCS and KEK), Izu, Sept. (2004).
- Okada K. and PHENIX Collaboration: “Measurement of prompt photon in  $\sqrt{s}=200$  GeV pp collisions”, 16th Int. Spin Physics Symp. (SPIN 2004), (ICTP), Trieste, Italy, Oct. (2004).
- Yamazaki T., Aoki S., Fukugita M., Ishikawa K., Ishizuka N., Iwasaki Y., Kanaya K., Kaneko T., Kuramashi Y., Okawa M., Ukawa A., and Yoshie T.: “ $I=2$  S-wave pion scattering phase shift with two-flavor full QCD”, *Workshop on the Physics Programme of the RBRC and UKQCD QCDOC Machines*, Upton, USA, Nov. (2004).
- Izubuchi T.: “The electromagnetic splitting and  $g_\mu^{-2}$

- light-by-light contribution”, Workshop on the Physics Programme of the RBRC and UKQCD QCDOC Machines, (RIKEN), Upton, USA, Nov. (2004).  
(国内会議)
- 橋本耕一, 出渕卓: “Static quark potential from two flavor dynamical domain-wall QCD”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 池田貴: “The effect of memory on relaxation in  $\phi^4$  theory”, 理研-東大ミニワークショップ「RHIC をめぐるハドロン物理の展開」, 和光, 3 月 (2004).
- 橋本耕一, 出渕卓: “ドメインウォール QCD における静的ポテンシャルの解析”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 武藤亮太郎, 千葉順成, 延與秀人, 深尾祥紀, 舟橋春彦, 浜垣秀樹, 家入正治, 石野雅也, 神田浩樹, 北口雅暎, 三原智, 宮下卓也, 三輪浩司, 村上哲也, 名倉照直, 成木恵, 能町正治, 小沢恭一郎, 佐久間史典, 佐々木修, 関本美知子, 田原司睦, 田中万博, 外川学, 山田悟, 四日市悟, 吉村義郎: “12 GeV p+A  $\rightarrow \rho/\omega/\phi + X$  反応を用いた, ベクター中間子の質量に対する核物質効果の測定 (KEK-PS E325 実験)”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 岡田謙介, PHENIX Collaboration: “Measurement of prompt photon in  $\sqrt{s}=200$  GeV pp collisions”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 田原司睦, 秋葉康之, Averbeck R., Butsyk S., 梶原福太郎, 外川学, 榎本裕二: “Measurement of single electrons in  $\sqrt{s_{NN}}=62.4$  GeV Au-Au collisions at RHIC PHENIX”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 陣内修, Alekseev I. G., Bravar A., Bunce G., Dhawan S., Huang H., Igo G., Kanavets V. P., 栗田和好, 岡田裕美, SPINKA H., 齊藤直人, Wood J.: “Measurement of the analyzing power of proton-carbon elastic scattering in the CNI region at RHIC”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 飯田圭, 小濱洋央, 親松和浩: ““黒い” 原子核描像と反応断面積”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 山崎剛: “スカラー理論を用いた二体粒子波動関数の研究”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 池田貴, McLerran L.: “Understanding impact parameter in Balitsky-Kovchegov equation”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 小濱洋央, 飯田圭, 親松和浩: ““黒い” 原子核描像と物質密度半径”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森, 高知, 9 月 (2004).
- 小濱洋央, 飯田圭, 親松和浩: ““くろたま” 描像で眺望した原子核”, 「少数粒子系物理学の現状と今後の展望」研究会, (大阪大学核物理研究センター), 大阪, 12 月 (2004).
- 小濱洋央, 飯田圭, 親松和浩: ““黒い” 原子核半径のエネルギー依存性”, 日本物理学会第 60 回年次大会, 野田, 3 月 (2005).