

# RBRC研究評価委員会報告書（仮訳）

2003年11月20日 - 21日

## 1 概要

研究評価委員会は、2003年11月20日から21日にかけてブルックヘブンにおいて開催された。委員会の委員構成およびアジェンダは報告書の最後に添付する。

委員会は、今回も RBRC の成功ぶりに感銘を受けた。優れた研究組織である RBRC は、現代原子核物理学の最先端の研究に貢献している。RBRC は、全ての原子核現象の原因となり、また核物質のあらゆる新しい状態を含む、強い相互作用の研究を専門としている。電弱相互作用、または場合によっては強い相互作用における CP 対称性非保存の研究に対し、これらの研究範囲は現在重イオン衝突型加速器 (RHIC) が目的としている非束縛クォーク・グルーオン (the Quark Gluon Plasma = QGP) から、初期宇宙、超新星爆発の小型残留物である中性子星 (または strange stars) におよぶ。

この重要な分野において、科学の研究や若い研究者間の交流のための場と環境を提供するというRBRC の活動は、物理学および物理学者の発展のための最も効果的で生産的な手段の一つである。過去の報告書でも述べたように、RBRC の研究者の若さとその研究の質の高さもまた、国際的な研究のコラボレーションを成功させるための要因の一つとなっている。

また、センターの管理体制の質の高さが過去も現在も成功につながっていることは言うまでもない。前途有望な志望者を特別研究員として選考すること、そしてその精神とスタイルは必ずや最良の研究と成果をもたらす。この意味で、RBRC の設立とこれまでの運営における T.D. Lee 教授の役割は重要である。

T.D. Lee 教授の見識、科学的な知識および献身的な努力は RBRC の成功と優れた精神につながる。現在ここでの業務は、副センター長の Dr. N.P. Samios が補佐している。来年は、Dr. Samios がセンター長、Dr. H. Enyo が副センター長に就任する予定である。Lee 教授は、名誉センター長として引き続き在籍する。

RBRC は、Dr. Samios と Dr. Enyo の確かなスキル、知識、および献身的な努力により、これまでも十分に示してきたようにそのスタイルと成功を引き継ぐことであろう。

去年の報告書にも述べているように、RBRC は現在、規模の面で十分に成長した組織である。RBRC は期間の定められた研究員やリサーチ・アソシエイトによって運営されているため、成功のカギとして RBRC に入所する新規研究員の質が重要だ。言い換えると、前任研究員の成功が影響を与えることになる。プレゼンテーションで発表された研究成果により、その質の高さは十分に示すことができる。詳細は、以下のセクションで述べる。

米国エネルギー省の Outstanding Junior Investigator Awards と呼ばれる賞が 5 年前に設立されて以来、RBRC 終身職の 5 名が受賞したことから、質の高さは明らかである。最近では、2003 年に Duke University の Stefan Bass 助教授が受賞した。RBRC 科学者による出版物の発行は、過去一年で理論グループから 95 件、実験グループからは 33 件に上る。RBRC では、関連トピックについて 8 回のワークショップを開催し、重要なセミナー・プログラムを週に平均 6 回行ってきた。

また、RBRC 特別研究員プログラムの出身者は全員終身教授職または中心的研究職位に進んでいる。

理論グループおよび実験グループの活動詳細については、以下のセクションに述べられている。ここでは、取り上げられた数多くのトピックの中からいくつか紹介する。

2003 年に稼動した RHIC を用い、その最高エネルギー 200 GeV での d-Au 衝突、また偏極 p-p 衝突も 200 GeV で行った。RBRC の研究者は、研究に関連する全ての点で活動的に参加している。

d-Au 衝突実験によって、Au-Au 中心衝突における遠く離れた側の噴出の消失は、初期状態効果ではなく終状態効果だったことがわかった。これはグルーオンを主とする高エネルギー密度状態が Au-Au 衝突によって生まれたという結果を強く裏付けるものである。

また、RBRC グループが特に注力しているミュオン・アームによる p-p 衝突でミュオン・ペアに生成される  $J/\psi$  の崩壊の測定、 $^0A_{LL}$  の事後測定を利用した横軸から縦への陽子のスピン回転、d-Au 衝突時の直接電子と光子の測定も実現した。

使用した陽子の偏極度約 34% は、AGS の常伝導サイベリアンスネークの利用によるものである。来年の実験には、超伝導スネークが利用可能となり、大きな改善につながる見通した。また、偏極ガスジェットのターゲットも完成、設置された。これは 2004 年の偏極陽子研究のために利用される。この偏極ガスジェットにより、陽子偏極度の絶対値測定が実現されるだろう。

昨年は RIKEN-QCDSP スーパーコンピュータを 100% 近くまで活用した。理論研究に関する次のセクションで、QCDSP によって得られた多くの興味深い結果について取り上げる。また、毎秒10テラフロップス (10兆回) の計算が可能な、次期 RIKEN-BNL スーパーコンピュータである QCDOC の建設が順調に進み、委員会は大変満足している。これは RBRC にとって大きな機会であり、興味深い重要な研究結果が多く期待されるだろう。

## 2 理研 BNL センター 実験研究

延與秀人グループリーダー及び Gerry Bunce 副グループリーダー率いる RBRC 実験グループでは、昨年より引き続きすばらしい方法で結果を生むことに成功している。プログラムは、スピン物理と重イオン物理の両面で進められている。

スピン物理プログラムの一つであるAGS のイオン源は 70%を超える高い偏極度を引き続き実現したが、AGS による加速中に偏極度は約 35%に減少した。これは、AGS 内において部分 (常温) サイベリアンスネークのみを使用したためである。超伝導フルスネークは、来年以降の実験に間に合うように完成する予定だ。完成すれば、偏極度は大幅に改善されるだろう。

RHIC リングで加速する際にはこの偏極度はほぼ維持され、最終エネルギーで約 34% を実現した。この結果は昨年より少し改善されているが、AGS で超伝導フルスネークを利用すれば大幅に改善されるだろう。RBRC のグループが主に製作、運用した CNI (Coulomb-Nuclear Interference) 偏極度計の優れた性能により、偏極やスピン研究が可能となった。

この CNI 偏極度計は、非対称度の相対測定には大変有用だが、スピンプログラムが目標とする物理的ゴールには絶対値測定が重要である。偏極ガスジェット偏極度計は、現在進行中の run 4 実験中に建設、設置され、run 4 で偏極陽子実験が始まった時点で稼動する予定だ。

昨年の実験によって得られたもう一つの重要なことは、RHIC で生成される前方

中性子 (forward neutron) の Single Transverse Asymmetry  $A_n$  の観測結果である。

この非対称性により、実験が縦偏極陽子を用いている事を保証している。スピンプログラムにとって最も興味深い実験（すなわち、縦偏極陽子を必要とするグルーオン spin 構造関数の測定）が可能になるという点においてこの結果の重要性をどれほど強調してもし過ぎることはない。

上記のスピローテーターに対する研究の結果は、PHENIX 共同研究の一部として RBRC の物理研究者によって得られたものであるが、他にも稼動中に多くの重要な観測結果を得ている。そのうちのいくつかを以下に述べる。

これらの結果を発表した RBRC 研究者の氏名は、添付のアジェンダに掲載されている。ほとんどの場合、作業は共同研究によるもので、多くの RBRC 物理研究者や学生が研究に大きく貢献している。

1. RBRC グループは、PHENIXの中央アーム トリガ システムを設置した。これにより多くの計測が可能となり、例えば 200 GeV での p-p 衝突からの  $J/\psi$  生成の測定を初めて実現した。
2. 重要なスピン変数を計測するには、加速器のルミノシティーについて細かく理解する必要がある。各バンチ毎のルミノシティーに関する素晴らしくまた詳細な研究がスピン変数の計測につながる。
3. 上記及びその他の測定により、200 GeV での p-p 衝突における  $A_{LL}$  の値を初めて導出した。興味深いことに、理論学上の予想に反する計測結果が出た。
4. RBRC の物理研究者の尽力によって完成した南北ミュオン アームは順調に稼動している。この装置で崩壊したミュオン対を測定することにより、 $J/\psi$  の観測が可能となった。
5. 重イオン衝突 (200 GeV での Au-Au 衝突) を研究する中、 $\phi$  中間子生成の異方性が観測された。これは、 $V_2$  として知られるパラメータを計ったものであるが、すでに一件荷電粒子を用いて測定されており、重イオン衝突の初期段階で起こる大規模な熱化の注目すべき証拠を示している。これは、クオーク グルーオン プラズマの生成を示す重要な計測結果の一つである。したがって、 $\phi$  観測の結果は、観測結果が偶然ではなく全ての 中間子に適用されることを証明する非常に重要なものだと言える。この結果と荷電粒子の結果は極めて一貫している。

6. 重イオン研究においても、単一電子および直接光子生成現象の測定が初めて行われた。高エネルギー重イオン反応を研究する上でレプトンや光子が特別なのは、それらが生成後に媒体と相互作用しないためである。故に、衝突の初期段階での情報が伝わる。これらの衝突によって生成される物質の新形態の研究にせまる重要な一歩となる結果だ。

検出器や物理研究に関する上記結果に加え、PHENIX 実験で使用する新しい衝突点検出器の開発においても RBRC や理研の物理研究者の活動は活発である。ピクセルとストリップ両方のシリコン検知器を用い(短い) 崩壊トポロジーを観測することによってPHENIXで重中間子崩壊 (charm と beauty) を確認することが可能になる。中間子の検出や測定は大幅に改善されるだろう。これらの研究成果は、物質の新しい状態の物理学や衝突の動力学への多くの重要な新しい手がかりにつながる。

要するに、実験グループの活躍は今後も続くだろう。研究所を退職した特別研究員は重要な研究職に就き、将来性のある新しい特別研究員がプログラムに参加する。研究は建設的に進められている。スピンプログラムでは重要な計測器とその専門家をあらたに配備し、数年の間に非常に重要かつ新しい結果が期待できるだろう。また、スピンプログラムと同様、高エネルギー重イオン物理学でも重要で新たな結果を生み出せるような幅広いプログラムとなっている。グループの探究心は素晴らしい。

二人の終身職コース/理研フェローであるニューメキシコ大学 Douglas Fields 氏およびイリノイ大学 Urbana Champaign 校 Mathias Grosse Perdekamp 氏は引き続き成功をおさめてきた。Perdekamp 氏は終身在職権を取得し、Fields 氏にもその決定がまもなく下される。Fields 氏はミュオン アームを使用した  $J/\psi$  分析のリーダーであり、Perdekamp 氏は最近 KEK の Belle検出器との共同研究で、将来のスピンプログラム研究に重要となる崩壊関数の抽出に時間を費やしている。

実験グループの終身職コース/理研フェロー プログラムには、実験部門の性質上、理論グループよりもフェローの数が少ない。しかし、新しい学生や博士課程修了者をプログラムに送り込むことはとても重要である。また、実験グループの終身職/理研フェロー プログラムでは、アジアおよびアメリカ合衆国両方で RBRC と大学間の共同研究を強化することにも取り組んでいる。

評価委員会の実験グループ担当は、RBRC の実験グループ研究者と個々に会い、この若い研究者グループの能力、関心、献身的な姿勢に非常に感銘を受けた。

### 3 理論 BNL センター 理論研究

理論グループの規模は、リサーチ アソシエイト 10 人 (理研スピン物理 [RSP] リサーチ アソシエイト 3名を含む)、理研フェロー 4 人 (ブルックヘブン常勤)、終身職コースでもある/理研フェロー 11 人 (ブルックヘブン非常勤) で定着している。委員会は、スピン物理に取り組むサブグループを増員したい考えた。委員会は、理論グループの科学面での質の高さを今後も維持することを望んでいる。

終身職コース/理研フェロー プログラムは、相変わらず成功をおさめている。特に、フェローのうち 4 人 (A. Kusenko 氏、T. Schaefer 氏、M. Stephanov 氏、および U. van Kolck 氏) はそれぞれの所属機関より早期終身職を獲得し、1 人 (Stefan Bass 氏) はエネルギー省の「Outstanding Junior Investigator Award in Nuclear Theory」を受賞した。この OJI プログラムが設置されて以来 4 年になるが、毎年 2 人の受賞者のうち少なくとも 1 人は理研フェローである。委員会は、ハドロンおよび原子物理学の理論的研究を活性化しようとする RBRC の試みは著しく成功したと感じている。

フェローやリサーチ アソシエイトは皆、RBRC での研究活動、研究プログラムの幅広さと質の高さに非常に前向きである。そして、研究所の素晴らしい環境を認め、その環境によく溶け込んでいると感じている。そのほとんどが、原子核理論グループと高エネルギー物理グループの BNL 物理研究者と関わっている。特に、日本人リサーチ アソシエイトおよび学生との関係はよい。委員会は、Dr. Larry McLerran に若い研究者に積極的にアドバイスするよう奨励している。

終身職コース/理研フェローは、素晴らしい機会を与えられたと感じている。研究所での任期を終了する予定の者もいるが、大学の専任職に就いた後でも RBRC と研究所との関係を継続できる手段が必要だと考えている。RBRC プログラムは若い研究者にとって優れた、活動的なコミュニティとなり、委員会は RBRC の役員から最大限のサポートを得ることにより、これらの研究者を引き続きこのプログラムに参加させたい考えた。

フェローは RBRC においてワークショップを開催できる機会を得たことについて非常に感謝しており、委員会はワークショップ プログラムの継続を強く支持している。

委員会は、ほぼ全 RBRC 理論家のプレゼンテーションを聞き、彼らの多くと討論を行った。研究活動は多岐にわたり、質も高い。RBRC フェローは、強い相互作用の物理において色々な角度から (スピン物理に限らず、天体物理学から高密度

での有効理論、または原子核システムの場合は重イオン反応の現象学まで) 研究する優秀な若い理論家のチームを形成している。全て順調に進行し、委員会は研究者が毎年新しい研究トピックを発表してくれることを嬉しく思っている。



彼らはその分野を活性化するとともに、新たな方向へ進み、将来も進み続けるだろう。このプログラムは精力的に継続するべきである。

Tilo Wettig 氏はノンゼロ化学ポテンシャルの効果をランダム行列モデルへ組み入れる方法を説明し、固有値分配の数多い特性の結果を発表した。これは、現在まで高温低密度以外では直接シミュレーションできなかつた有限密度でのQCDの特性への手がかりとなる。ランダム行列モデルは、ゼロおよび小さな化学ポテンシャルにおける QCD ディラック演算子の小さな固有値分配を正しく記述しているため、この手がかりとなると考えられ、また大きな化学ポテンシャルにも適用できると推測される。

Chris Dawson 氏を中心としたグループでは、QCDSF コンピュータを使用して、動的ドメイン ウォール フェルミオン (DWF) の格子 QCD の研究に取り組んだ。これらのフェルミオンには、他の離散化法よりも優れたカイラルおよびフレーバー特性が含まれるが、シミュレーションすることは著しく困難である。Dawson 氏と RBC (理研/BNL/コロンビア) は昨年、QCDSF の多くの時間を使用して、共同で動的クォークがストレンジ・クォークの半分の質量を示す格子の大規模なアンサンブルを導出することに成功した。この実現のためには、コードのスピードを3倍に最適化する相当の努力が必要だった。これによって RBRC グループは、あらたな QCDOC マシンを使用するとどのようなシミュレーションが可能かを理解し、物理研究に関してもいくつかの興味深い結果を得た。例えば、K 中間子 B パラメータが 10 である可能性の指摘である。

根本幸雄氏は、クエンチ近似における DWF を使用したパイオン ベクトル形状因子の初めての計算について発表した。これらのフェルミオンの良いカイラル特性によって、形状因子の小質量部の振る舞いが改善されると思われる。

山田憲和氏は、Symanzik 改善プログラムの DWF への応用について説明した。これは、5 フェルミオンよりも正確な結果を得るためには必要となるが、ツリーレベルで得た値は Wilson フェルミオンの値とは異なる。彼は、クォーク - クォーク散乱を使用してこれらを定義した。

杉原孝憲氏はカイラルゲージ理論のツリー レベルでの離散化を可能とする新しいフェルミオン離散化法を提案した。非摂動異常の問題が発生する可能性があるが、まだ報告されていない。

野秋淳一氏は、RBC が共同で研究中の、DWF を使用した弱形式マトリックス要素の計算について進行状況を発表した。上記 Dawson 氏により発表された動的アンサンブルと同様、より小さい格子間隔と DBW2 ゲージ アクション (カイラル

特性を改善) を使用したクエンチアンサンプルを導出した。これにより、初期におけるDWF計算のいくつかの系統誤差の判定が可能になる。

Tom Blum 氏は、ハドロン真空偏極に関する計算の状況を報告した。これは、ミューオン  $g-2$  に対するハドロン貢献の第一原理計算を行うために必要な情報である。Blum 氏が行った計算は、MILC コラボレーションから生成された格子で行われ、3種のフレーバーの改良型staggeredフェルミオンが使用されている。そして、その結果をクエンチ DWF を使用した前回の研究結果と比較した。彼は、打切り誤差量の判断材料として真空偏極が非常に有用であることを強調した。

Thomas Schaefer 氏は、高密度系における Fermi システムにほど近い低励起の物理現象への体系的アプローチについて発表した。彼は、有効理論の構築のため硬い高密度のループの役割を強調した。有効理論は様々な赤外効果、特にカラー超伝導に関連する事柄を議論するために一貫した枠組みを与えていることを示した。

Steffen Bass 氏はパートン リコンビネーションとフラグメンテーションの組み合わせに基づいた RHIC におけるハドロン化についてのあらたな現象論的アプローチについて報告した。このアプローチは、様々な観測結果の単純なスケールング則を導いている。例えば、楕円形フローがこのスケールング則にあてはまることはデータによって充分示されている。

平野哲文氏は、RHIC におけるソフトハドロンとハードハドロンの相互作用について発表した。彼が進めてきたアプローチによると、ソフト相互作用は流体力学を使用して説明できる一方、ハード相互作用はミニジェット生成につながる。平野氏は、ジェット クエンチ現象の解釈に際し放射状流の役割を強調した。

Werner Vogelsang 氏は、偏極  $pp$  衝突で計測されるであろう非対称観測結果の摂動的 QCD (pQCD) 計算に取り組んでいる。PHENIX の最近のデータでは、スピン非対称性は (統計誤差が大きいので、正の値かもしれないが) 負の値である可能性があることを示している。Vogelsang 氏は、負の値が pQCD に除外されるわけではないが、より精密な測定で確認された場合、その大きさはnext-to-leading-order の pQCD では理解できないほど過度に大きいものであると強調した。

Alexander Kusenko 氏は、ステライル ニュートリノの存在に基づくパルサー運動発生 の 解明について発表した。ステライル ニュートリノは本質的には相互作用せずに中性子星を離れるが、その際パルサー運動を与える可能性がある、というものである。彼の主張によると、このようなニュートリノのうち1-20 KeV の質量を持つものが暗黒物質を形成することを示すパラメータがある。重力波の計測によりそのような仕組みが確認されるだろうとのことだ。

Bira van Kolck 氏は、核子の少数多体系における荷電共役対称性の破れに関し、有効理論の新しい応用方法を考え出した。実験で、これらの電磁相互作用がクォー

クの質量差に起因することを示す可能性がある」と発表した。また、荷電共役対称性の破れの重要なパラメータが格子上で計算できる可能性も示した。

Mikhail Stephanov 氏は、従来のハドロン物理学を見直した。彼は無数の局所的対称性を組み込んだ理論を組み立て、それによってハドロンスペクトラムの様々な特性を復元することができる」と述べた。この新しい理論は 5 次元空間で再公式化することが可能であり、関連の計算は AdS/CFT の対応から得る形式と同じ形式を使用する。単純なバックグラウンド メトリックを選択している場合、ハドロンの低エネルギー特質を再現する。

池田貴氏は一般化した Kadanoff-Baym ansatz がスカラー場理論の運動方程式を解くことを報告した。池田氏によると、記憶効果が正常に考慮される場合、非指数的減衰が現れる。なお現段階では明らかになっていないが、その減衰は準粒子励起の減衰に伴う振動を伴って発生する。

委員会は、会議を欠席した出淵卓、Sangyong Jeon 両氏よりレポートを受け取った。出淵氏は、動的DWFを用いた K 中間子 B パラメータの計算について詳細に述べている。Jeon 氏の最近の研究テーマは、クォーク グルーオン プラズマ内でもリーディング パートンのエネルギー損失についてである。

また、委員会は RBRC の Young Researcher である八田佳孝氏と横谷洋氏との面談も行った。八田氏は BNL での勤務が一年を過ぎ、R. Pisarski 氏との研究を中心に取り組んでいる。彼は将来有望な若い物理学者で、科学者として独立する日も近い。新人研究者である横谷氏は、W. Vogelsang 氏の指導のもとで研究を進めている。委員会は、このような若い研究者が RBRC プログラムに参加することを前向きに捉えており、今後も彼らを惹きつけるようなプログラムにしていくよう管理側に奨励している。

格子 QCD での貢献において、Tom Blum 氏がコネチカット大学の終身職コースを得た上で引き続き大学フェローとして RBRC と協力していくこととなり、委員会はその報告に満足している。格子色力学の中心的存在である Blum 氏と Dawson 氏は、ポスドクの青木保道氏と K. Orginos 氏が最近退職し、格子プログラムが縮小したことに懸念を示している。このような観点から委員会は、有限温度・有限密度 QCD 専門の格子理論家を採用することを決め、また Peter Petrezky 氏をハーフタイム フェロー (BNL 原子核理論グループとのジョイント) として採用した BNL の原子核理論グループの尽力に感謝している。Petrezky 氏は、格子理論の RHIC 物理への応用を専門とした有望な若手理論家である。委員会は、格子研究プログラムの拡大を、それらの応用を含め積極的に支援し、Petrezky 氏と BNL が新たに採用する研究者が RIKEN や RBC プログラムと協力していくよう積極的な活動を進めたいと考えている。

来年、理研センターは 10 テラフロップスの QCDOC の到着と同時に、有効計算能力を 20 倍に向上させる予定だ。格子 QCD の計算能力としては、センターが世界のリーダーとなるだろう。RBRC にとってこれは極めて大きな機会であり、センターがコンピュータ使用時間の割り当てを決める際に、慎重に、効率良く、わかりやすい手法を用いるよう望んでいる。