

RBRC 研究評価委員会報告書(仮訳)

2001年11月29日-30日

1 概要

研究評価委員会は2001年11月29日から30日にBNLのRBRCで開催された。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。

RBRCが現代原子核物理学の研究において、豊富な業績を生む重要な研究施設の1つに発展したことを確認した。RBRCは、強い相互作用の最も基本的な問題から、BNLの加速器RHICで実現されつつある物質の新しい状態の研究、更には宇宙物理学に至るまでの幅広いテーマをカバーする。

T.D. Lee センター長およびN.P.Samios 副センター長の指導力は、RBRCの運営に大いに貢献している。彼らは、若い研究者達に創造的な科学的交流および研究の場を提供することをRBRC運営の根本に置いている。昨年の評価委員会報告書にある通り、RBRCは昨年、予定した規模に達しており、これまでの1年間は、RBRC創設時の構想に基づくフル稼働となる最初の1年であった。

RBRCの業績は昨年中92に及ぶ研究論文発表が行われたこと、また特定の研究課題に重点をおいた7つのワークショップへが開催されたことに例証される。加えて、RHIC Physics Fellowのうち2名が米国エネルギー省の「Junior Outstanding Investigator Award」を受賞し、2001年のQuark Matter国際会議においては6人のRBRCフェローが基調講演を行っている。さらに、多くのRBRCフェローが権威ある研究所もしくは大学の終身雇用枠に採用された。以上のことからRBRCの研究者たちが選りすぐられた存在であることは明白である。

評価委員会はニューメキシコ大学との兼任ポストとして、Fields 助教授が、実験グループのRHIC Physics Fellowとなったことを高く評価する。実験グループに大学との兼務ポストであるRHIC Physics Fellowを採用することは、これまでの評価委員会でも推奨されていたように、RHIC スピンプログラムへの大学院生の参加を増やすばかりでなく、若い世代の実験研究者をスピン物理分野に引き付ける原動力となるだろう。

実験プログラムは、現在大掛かりな進展途中にある。委員会開催直前から開始されたRHICの偏極陽子加速・衝突の初めての運転は、委員会としてもその結果に深い関心を寄せている。AGSおよびRHIC両方の加速器においてクーロン原子核干渉ポラリメータが運転に成功している。これからの設計から、製作・運転に至るまで、ひとえにRBRC実験グループの功績である。

偏極ビームにとって重要な偏極度の絶対値測定を行うための偏極水素ジェットターゲットの製作計画は順調に進行中である。

PHENIX の偏極陽子実験において重要なトリガーシステムは、RBRC 実験研究者によって順調に準備が進められている。さらに、シリコンバーテックス検出器の研究開発も進行中である。これは電弱相互作用を媒介する W ボソンと Z ボソンの生成の測定など、多くの基本的な反応の測定能力を向上させるものである。

RBRC において進められている様々な理論研究については後で詳しく述べる。ここではグルーオンの数密度が高い場合の QCD の理解が進んだこと、そしてこの成果が RHIC の実験結果の解釈に適用しうる事を特記する。また、低温・高密度のクォーク物質の構造について新しい研究が進められている。この研究は、クォーク物質の新しい相が中性子星の深部で自然に実現され、色電荷の超伝導体になっていることを示唆するものである。

最後になるが、本評価委員会は RBRC の格子 QCD 計算用スーパーコンピュータ(QCDSP) を利用した (θ / π) 比の計算が成功したことに注目したい。この (θ / π) 比は標準模型の枠組みで CP 対称性の破れを説明するための重要なパラメータである。RBRC スーパーコンピュータは、コロビア大学の“姉妹”機と合わせて 1Tflop のパワーを持つ。この計算はまだいくつかの近似(いわゆるクエンチ近似およびカイラル摂動理論の利用)を用いているが、完全計算に迫った、現時点で可能な計算結果として前代未聞のものである。この比が 0 と異なるという事実は、CP 対称性の破れが自然界に生じることを説明する。この比は原理的には標準模型から予測可能であるが、格子 QCD 以外のいかなる方法によっても計算が不可能な強い相互作用の行列要素を含んでいる。

計算された比は、実験結果と一致していない。つまり、この計算結果は自然界における CP 対称性の破れが、標準模型を超える物理にその起源を持っている可能性を示す。将来、計算が更に進展することにより、最終的にこの謎が解明されるであろう。評価委員会は新しい格子 QCD 専用計算機 QCDOC の製作が承認されたことを高く評価する。また、その製作に向けた計画の進展に感銘を覚えた。この装置は、上で論じたような精密計算、すなわち強い相互作用の基礎理論である QCD の基本的性質を明らかにするような格子ゲージ理論計算、を進める上で、先例のない牽引力を提供するものであり、格子 QCD の研究領域を広げるものとなる。

2 理研 BNL 研究センター 理論研究

2000 年 10 月から 2001 年 11 月までの理論研究グループの活動について、委員会の冒頭に

Lee センター長から概略説明があった。RBRC 理論研究グループに所属する研究者の内訳は、RHIC フィジックスフェロー研究員 10 名、フェロー研究員 3 名およびポスドク研究員 7 名の合計 20 名である。昨年の評価委員会の時点では 17 名であった。昨年の委員会開催以来、RHIC フィジックスフェロー1名が終身雇用職に就き、新たに5名が RHIC フィジックスフェローとして採用された。人的資源の見地から見て、理論研究グループのサイズは安定した規模に達している。実験に関する論文も含めると、年間論文発表総数は 92 にのぼり、ワークショップも年間7つにわたり開催されている。理論研究グループ全体の活動は、非常に高いレベルに達しており、かつ安定状態にあるといえる。

Lee 教授は概要説明の最後に、本人による非常に興味深い研究について簡単に触れた。これは任意の次元でのシュレーディンガー方程式を解く新しい手法に関するもので、通常の経路積分でやられるように、可能なあらゆる経路について和をとるのではなく、ある決まった経路にそって積分を行うという方法である。Lee 教授は、シュタルク効果を解決するために、この方法が著しく効果的であることを示した。この議論は本評価委員にとって驚きであった。この方法が量子場の理論を解く際に応用できるかどうかは非常に興味深い。

理論研究グループの13名のメンバーが口頭による研究発表を行った。口頭発表が予定されていた Vogelsang 研究員は、旅程のトラブルから不参加となった。その他のメンバーは、研究の要約を書面にて委員会に提出した。昨年の委員会と同様に RBRC における研究の高い創造性と質の高さは維持されており、またそれがより高いレベルに進んだことは喜ばしい。RBRC の研究者が、昨年の評価委員会以来の短期間に、多くの新しいアイデアを含む質の高い研究を生んでいること、またグループの新しいメンバーもすでに研究プログラムに活発に参加していることに感銘を覚えた。

本委員会の理論メンバーは、発表を終えた 13 名の RBRC 理論研究員を 4 つのグループに分けて個別面接を行った。この 13 名のうち 6 名は、前回の評価委員会以来新しく RBRC に加わっている。研究員各々が、RBRC が提供している研究環境に感謝と熱意を持って答えようという素晴らしい研究精神を持っていることを見出した。

RBRC 理論研究グループは、様々なアプローチから、強い相互作用の物理の基礎に関わる広範囲の研究に取り組んでいる。ここでは主な 4 つの研究分野について個々に評価する。4 つの研究分野とは 1) 格子ゲージ理論、2) 高密度物質の理論、3) 高エネルギー原子核衝突の理論、4) 標準模型を越える物理、である。

1. RBRC の理論研究者は、格子正則化法に基づいた計算技術を量子色力学の研究に応用する点で大きな進展を果たした。これらの研究では、フェルミ粒子に対

する新しい正則化法、すなわち、「ドメインウォール正則化法」を適用した。この方法は有限な格子間隔においてもカイラル対称性が保たれるなど、重要な理論的利点をもたらすが、計算上の複雑さが増加するという犠牲を払うことになる。RBRCの強力な計算リソース(QCDSPスーパーコンピュータ)の巧みな使用と解析的な手法による考察を組み合わせることによって、格子 QCD 理論グループはドメインウォールフェルミオンについての先駆的な研究を行った。これによって RBRC はこの分野において国際的なリーダーシップを獲得したといえよう。

口頭発表のうち重要なものは5つあった。Originos 研究員はドメインウォール正則化法で発生する問題について説明した。ウィルソンゲージ作用を用いた場合、遷移行列に小さな固有値が頻繁に現れるが、この様な小さな固有値があると、計算上の近似を悪くするという問題がある。彼は、修正したゲージ作用(いわゆる DBW2 作用)を使用することによって、その問題がどのように解決できるかを示した。青木研究員は DBW2 作用を用いた固有値計算の結果を示し、この作用を利用することがより良い結果につながることを示した。Dawson 研究員はドメインウォールフェルミオンにおけるカイラル局在性に関する非常に興味深い研究発表を行った。ディラック演算子の最低固有モードはカイラル局在性を示すという仮説があるが、これに対して、異なるグループがそれぞれに肯定的および否定的な計算結果を出しており物議をかもしている。本研究によって、この問題が解決される可能性が高い。

Blum 研究員は、RBRC の格子 QCD 専用計算機を用いた、K 粒子崩壊における CP 対称性の破れに関する重要かつ画期的な計算結果を報告した。この計算では、さまざまな振幅やくりこみ定数を格子上で数値的に求め、これらを組み合わせることによって、崩壊定数を決定する行列要素を算出する。計算を高い精度で実行しなくてはならず、ドメインウォールフェルミオンの導入以前には不可能であった計算である。 ϵ'/ϵ 比率の厳密な値を決定することは学問的に重要で広く関心を集めているが、結果が大きな数同士の引き算として求まるために、実験値との食い違いがあることについての分析には結論が出ていない。しかしこの研究の結果は、将来のより正確な計算のための必要なステップを確保したものである。計算過程において、 $I = 1/2$ 法則が格子 QCD 計算で導出されたことは、重要な理論的成果である。

最後に、CP-PACS グループ(格子ゲージ理論における最先端の研究を行っている別のグループ)から最近 RBRC に加わった野秋研究員は、CP-PACS によって得られた非レプトンの K 粒子崩壊に関する研究結果を発表したが、これは

RBRC が得ていた結果を裏付けるものであった。

Wettig 研究員は本委員会に出席できなかったが、彼の過去の研究および将来の計画の概略が委員会に提出された。Wettig 研究員は、有効理論と格子上の数値計算を用いて、量子色力学のディラック演算子の性質の研究を行った。また、新しいQCDOCスーパーコンピュータの設計において重要な役割を果たしている。

2. 極限的な物理条件下での物質の性質を探求することは、RHIC 実験の主要なモチベーションであると同時に、理論グループにとっても主要なテーマとなっている。

中性子星の中心部に存在する可能性がある低温の高密度クォーク物質が、カラー超伝導体になっているという非常に興味深い理論的予想は、他の可能性と共に、RBRC 理論研究員達によって広範囲に渡って研究されている。Son 研究員は、Stephanov 研究員及び Rischke 研究員と共に、カラー超伝導と閉じ込めの関連についての研究発表を行った。フレーバーが2の場合、閉じこめの起こる距離が非常に大きくなり、クーパー対の大きさよりも大きくなると予想した。Schaefer 研究員は、フレーバー数が3の時に起こる、カラー・フレーバー・ロッキングという超伝導状態を研究し、ストレンジクォークの質量及び電子の化学ポテンシャルの役割について報告した。

Stephanov 研究員は、ソフトゴールドストーンモードの分散関係をどのように決定するのかという Son 研究員との共同研究をベースに、相転移近傍における物質の力学的性質を議論した。Schaefer 研究員は、K 粒子凝縮状態における励起スペクトルについての分析を行った。Bielich 研究員は、高密度物質の状態方程式についての最近の結果を、中性子星およびクォーク星の構造の研究に適用したものを文章で報告した。

3. RHIC における高エネルギー原子核衝突によって生み出される物質の時間発展を理論的に記述するためには、衝突原子核の初期状態及び生成された物質の非平衡過程を含む理論的問題について、さまざまな角度から研究することが必要である。

原子核衝突によってもたらされる高密度グルーオン系の初期状態は、McLerran-Venugopalan モデルの見地から、Venugopalan 研究員と奈良研究員によって説明された。McLerran-Venugopalan モデルは、衝突するパンケーキ

の様な状態にある原子核を、ランダムなカラー分布によって生成される古典的ワイゼッカー・ウィリアムズ・グルーオン場であるととらえており、この描像は「カラーグラス凝縮 (CGC)」と名付けられている。特に、Venugopalan 研究員は、最新の RHIC 実験で得られた縦方向運動量分布のデータを分析し、そのデータが CGC 描像によって予言されたスケーリング則と矛盾しないことを示した。奈良研究員は、この描像をコンピューター・カスケードコードで実行し、熱プロセスならびに、結果として生じるフローの効果についての詳細な研究を行った。小さい x 領域でのグルーオン構造関数の非線形発展方程式について、平均場近似ならびに乱雑位相近似を用いての詳細な研究が板倉研究員によって行われ、その結果を、以前に行われた他の研究と比較した。

QCD プラズマ中で互いに相互作用する長波長モードの非平衡力学の研究が Bodecker 研究員によってなされた。彼は、古典場とストカスティック力学を使って、この非摂動的領域を記述する有効理論を提唱した本人である。根本研究員は、同様な赤外問題のある、時間依存ギンツブルク-ランダウ方程式を改善するため、くりこみ群の方法を使用する試みについての議論を行った。

4. RHIC 実験の成功のためには、新しい物理の兆候についての理論的研究が不可欠である。上に述べた研究の他にも、いくつかの新しいアイデアが RBRC の理論研究員によって提案されている。

Jeon 研究員は、SIS 加速器での K 粒子生成や、RHIC でのチャームを含む中間子生成など、生成率の低い粒子の生成率ゆらぎの時間発展について研究した。厳密に成り立つ保存則をもとに議論をおこない、そのようなゆらぎは、衝突において化学的平衡が達成されたか否かを高感度にプローブする量であることを発見した。Bass 研究員は、パイ中間子および K 粒子の Hanbury-Brown-Twiss 二粒子相関を研究する手法として、クォーク・グルーオン・プラズマがハドロンガスになる時間発展を流体力学的に記述し、その後のフリーズアウト段階をミクロな輸送過程として記述するというハイブリッドモデルの研究報告を行った。

RHIC における偏極陽子・陽子衝突実験は、他の実験では測定できない、陽子のスピン構造についての情報を生み出す。Vogelsang 研究員は、Mellin 変換を適用することによって、実験データからスピン構造関数を抽出する新たな方法を開発し、RBRC の実験グループが進めている実験における有効性を研究した (残念ながら、この講演は、Vogelsang 研究員の旅程のトラブルにより取り消しとなった。)。

超高エネルギー宇宙線の相互作用や、初期段階の宇宙に生じていたと考えられる新しい現象も、RBRC 理論研究グループの研究対象となっている。Kusenko 研究員は、ダークマターが非トポロジック的ソリトンの形で存在する可能性を示す新しい研究について発表した。

RBRC 理論研究員によるこれら数多くの研究は、他機関の研究者と共同で行われている。とりわけ、コロンビア大学、ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校、エール大学、マサチューセッツ工科大学などの地理的に近い研究所の理論研究者達との緊密な共同研究が重要な役割を果たしている。数値格子ゲージ理論およびその将来については、コロンビア大学との共同研究が非常に有益であることを特筆しておく。

格子ゲージ理論の分野における RBRC 理論研究グループの成功は、解析的な手法による理論的洞察と強力なコンピュータリソースとの融合によって生じている。さらに強力な計算機 (QCDOC) が現在、コロンビア大学によって開発中であり、近い将来 RBRC に投入されるということ、委員会は非常に喜ばしいことと判断する。本委員会は、現在稼働中の QCDSF スーパー・コンピュータで行なわれた研究と、QCDOC プロジェクトの進行状況を要約した Christ 研究員と Mawhinney 研究員による発表に非常に興味を持った。後者のプロジェクトは、スケジュール通りに進んでおり、最大出力 10Tflops の QCDOC 装置が、2003 年中に RBRC に設置されると期待されている。ハードウェアの開発のみならず、スーパー・コンピュータを十分に活用するために必要となるソフトウェアの開発も周到に進められている。新しいコンピューター QCDOC は現在の QCDSF と比べ柔軟でプログラミングが容易になるとはいえ、QCDSF における経験が大きく生きている。RBRC の研究者達が幸運にも手にする新しいスーパー・コンピュータは、格子ゲージ理論の研究においてリーダーシップを取り続けるために確かな助けとなる。

筑波グループからもう一人新たにポストドクターが加わったことで、筑波および他の機関の日本人格子 QCD 研究グループとの共同研究が一層充実して来たことに、本委員会は満足している。RBRC は、多くの日本の若手物理学者達に、非常に刺激的で知的な環境を提供し、また、豊富な業績を上げている国際共同研究を通じて、貴重な訓練の機会を与えている。

我々はまた、米国科学界全体へ共同研究の範囲を拡大させる視点から見て、RHIC フィジックスフェロー制度を歓迎する。すでに RHIC フィジックスフェローのうちの数人が終身雇用枠を得て RBRC を離れたことを、本委員会は喜ばしく思う。将来的には、RBRC で訓練されたより多くの若い研究者が、他の機関で常勤研究者となり RBRC を「卒業する」ことによって、外部との共同研究の性質が大きく変貌するだろうと予想する。

もし RBRC の卒業生が RBRC およびブルックヘブン国立研究所と公式な関係を維持し、かつ今後の RBRC での研究を援助する方法を確立できれば、RBRC の業績はさらに発展するだろうというのが、本委員会の見解である。多くの RBRC 卒業生は、研究分野を継続すると思われる。彼らとの関係を維持し、彼らの学生を BNL と RBRC の環境に取りこみ、研究に参加させることが望ましい。RBRC での知的で刺激的な環境を体験することは、それがたとえ短期間であっても、大学院学生にとって大いなる経験となるだろう。

3 理研 BNL 研究センター 実験研究

RBRC 研究評価委員会は、RBRC 実験グループに関与するフェローや学生の発表を聞き、そのうちのほとんどのメンバーと個別に面談した。

この一年は、RBRC 実験グループに於いて非常に活発な研究活動が行われた年であった。ここではいくつかの主な功績について注目したい。報告書として簡略にするため、実際に発表・議論されたいくつかのトピックについては割愛せざるを得なかった。

実験研究プログラムの主な焦点は、偏極陽子ビームの衝突におけるスピン現象に関する研究にある。理研との協力により、世界で初めてのこのような研究が RHIC 加速器において可能になった。本会議が開催された時は、初の偏極陽子ビームの衝突実験が始まる場所であった。この実験結果は当委員会は勿論のこと、研究コミュニティ全体が切望しているものである。

「スピン物理研究」の活動はこれらの実験の準備に集中していた。中でも重要なものは、陽子-炭素クーロン核干渉(CNI)ポラリメータの開発および試験であった。AGS の実験 E-950 では、その設計に関して予備テストが行われた。この予備テストの結果は、現在完全に解析され、このポラリメータの有効性が確認された。この原理に基づき、3つのポラリメータが偏極陽子実験で使用するため用意された。1つは AGS に置かれ RHIC へ入射する直前のビームの偏極度を測定するためであり、他の2つは RHIC の各リングにおいて入射後および加速後の偏極度を測定するためのものである。

これらのポラリメータは、偏極をモニターしながら加速器を調整するために非常に役立つものである。しかしながら、絶対値測定においては比較的大きな系統誤差があるため、ビーム偏極の絶対値を測定するためのより良い方法が必要とされている。このため RBRC 実験グループおよびその共同研究者により、偏極水素ジェット標的の開発研究が行われている。今後偏極ジェットターゲットの利用に関し RBRC 実験グループが BRAHMS 実験グループと親密に共

同研究を行っていくことが重要である。これはビーム偏極の絶対値を決定し、他のポラリメータを校正する為である。

横偏極した陽子の衝突における ρ 生成の非対称性を測定する別のタイプのカロリメータの準備も進められている。このポラリメータは成功すれば CNI ポラリメータよりも高速で簡便なものとなる。偏極度を最大にするための加速器の精密な調整を可能にするためには、このようなすばやく偏極度を測定できる装置の導入が重要であることを指摘しておく。データ取得にかかる時間はビームの偏極度の2乗に反比例するため、偏極度が少しでも向上することは、実験遂行のために大変価値がある。

グルーオンスピン構造定数の解析方法はよく開発されており、この方法は今後測定されるデータに実際に適応される。

理研における CCJ コンピュータシステムの進歩は委員会にとって非常に喜ばしいものである。この重要な設備は、スピンドータに関する多くのデータ解析の拠点になるであろう。

もう一つの重要な活動は、スピン物理学の様々なトピックに対応するための PHENIX 検出器でのトリガーシステムの開発に集中している。陽子衝突の頻度は高く、全てのイベントデータを記録することは不可能なため、この開発が重用になる。

RBRC が責任の一端を担って進めてきた PHENIX のカロリメータは、最近の重イオン実験において興味深い測定をすることに成功した。スピン物理に不可欠であるこのカロリメータは昨年完成し、2000 年および 2001 年の Au-Au 衝突実験にも使用された。大きな横運動量を持つ ρ 中間子の生成は、陽子衝突において生成されるものに比べて抑制されていることが観測された。この効果はクォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)が重イオン衝突で生成された場合に生じるものと予測されている。ただし現時点では、これが QGP 確証であるというには時期尚早で、 p -A 衝突などにおける ρ 生成などの基本的測定との比較を行う必要がある。いずれにしてもこの実験結果は、QGP の存在に関する重要な手がかりであり、カロリメータが優秀な性能を持っていることにより可能になったものである。

南北2方向に設置されるミュオン検出器システムについても RBRC が大きな役割を果たしている。南ミュオンシステムは既に完成しておりデータ収集を待っている。北ミュオンシステムは、2002 年の実験に向けて完成する予定である。これらは PHENIX の主要なサブシステムであり、その進歩は RBRC 実験者達の実力を証明するものである。

最後に、スピン物理プログラムとその今後の展開に関するコメントをまとめる。

1. 昨年同様、理研とRBRCの協力関係は賞賛に値する。理研に所属する研究者、RBRCに所属する物理学者、日本の大学の研究者と大学院生、BNLおよび米国の機関に所属する研究者、それらが総体となって有効な協力関係を確立している。偏極実験の成功はSTAR、PHENIXそしてRHICの本プログラムに関する優れた協力関係に立脚している。前述したように、ビーム偏極度の絶対値測定を行うための偏極ガスジェット標的の計画を促進するには、今後BRAHMSとの密接な協力関係が必要とされる。
2. 昨年度の本委員会報告にもあったが、このプログラムへの日本の大学からの参画を拡大させる事が期待される。現段階での参加大学は京都大学と東京工業大学に集中している。
3. ニューメキシコ大学のRHICフィジックスフェローであるFields研究員とともに同大学の学生がこのプログラムに参加することが期待される。
4. 可能であれば、ニューメキシコ大学以外の大学にもこのRHICフィジックスフェロープログラムを広げることが好ましい。同様に、以前RBRCのフェローであり現在大学の職に就いた研究者も、赴任した大学においてスピン物理実験研究を新しく始めるであろう。
5. 理研のジュニア・リサーチ・アソシエイト(JRA)制度は、本実験プログラムにとって大きな価値がある。もし可能であるならば、この制度を日本以外の国々にも拡大することが好ましいと考える。もしもこのような制度があれば、発展途上国の学生にも実験研究に参加する好機を提供することができる。
6. 昨年結成されたBNLスピングループがスピンプログラム全体に良い影響をもたらしたことも喜ばしい。BNL、RBRC、および理研の3つのグループが互いに密接に協力し合うことにより、BNLにおけるスピン関連実験研究者の全体規模は、科学的な進歩を促進するための適切な臨界規模に達している。
7. 我々は昨年の報告書に、スピン物理プログラムへ適切なビームタイムが割り振られる事を要望した。今年のビームタイムにおいて、スピンプログラムの為のテストや実験そのものが優先的に検討されたこと知り、嬉しく思う。
8. 最後に、スピン実験初年度の結果に対する見解を書き添えたい。RHICは最新でユニークな高エネルギー加速器である。現在までに達成された加速器の性能から、その設計が優秀なものであったことが明確である。実験側も、これまで進められてきたテスト等において、スピン物理を遂行するために十分な性能を示している。しかしながら、高い性能を保持し続けるためには、研究そのものとは別に、相当な開発研究を継続する必要がある。これはRHICに限らず、革新的で複雑な新しい装置すべてについて言えることである。どんなに楽観的にみても初年度の実験からは、計画されている物理学のゴールすべてを達成することはできないであろう。例えそうであっても、現状を過小評価すべきでは

ない。今回収集された重要な情報は、今後多年度に渡り継続される実験において、より高いゴールを達成する為の基礎となる。