
NCAC Meeting

Jan 15-17, 2009

Recommendations and Conclusions

of the NISHINA Centre Advisory Council

【仮訳】(ドラフト)

要旨－勧告と諮問事項

仁科センターアドバイザー・カウンシル(NCAC)は、2009年1月15日～17日に和光市の理研で開催され、仁科センターの最近の進展を調査検討し、現行及び将来の計画について助言した。ピアレビューの視点に加え、NCACは、野依理事長から付託された「諮問事項」に沿って仁科センターの実績を評価した。

この要旨ではNCACの主要な勧告と結論をまとめた上で、それらが「諮問事項」の文脈の中で簡単に議論されている。NCACの勧告に至ったより詳細な事由は本報告書の本文で明らかにされている。

仁科センターの最近の最も際立った進展は、新しいRIBFのコミッショニング成功と最初の実験結果である。NCACは、この画期的な段階に到達したことについて仁科センターに祝意を表す。仁科センターは、科学的な発見の膨大な可能性を秘めて世界中のRI科学の最先端に踊り出たことになる。科学的な潜在可能性を所与のものとして、実験のための運転時間の増大、より信頼性の高い運転、及びビーム開発時間の減少にむけて仁科センターの高い優先度が与えられることを推奨する。

これらの目的を達成するため、NCACは、進展をモニターするため一連の指標が作られることを勧告する。

可能な指標は本報告書の本文で提案されている。

我々は、一次ビーム強度を増大させる仁科センターの計画を賞賛する。新規の28GHz ECRは、完成に近づき、ストリッパの寿命の改善にかなりの努力が払われている。我々はまた、ストリッパ技術の現在の限界を解決でき、ウランの設計強度目標を達成できる新しいコンパクトなサイクロトロン最初のアイデアについて説明を聞いた。

我々は、仁科センターがビーム強度を増大させる努力を続けることを勧告する。なぜならば、RIBFにおける発見の可能性は生成されるRIビームの強度に直接的に関係しているからである。

仁科センターがその強度目標を達成することが重要であると同じく、RIBFは現在画期的な結果を達成することができる。

我々は、強度増大の進展が図られる一方で、新しい施設での実験のために利用可能な時間を最大にするため注意深い検討がなされることを勧告する。

RIBFが可能とする科学的なアウトプットの増大を考慮すると、新規に認められ予算化された入射器の建設と早期のコミッショニングが強く勧告される。新入射器は、RIビームと超重元素プログラムに同時にビームを送るために必要である。両研究とも現在世界的にみて独特のものである。

仁科センターは、大阪大学核物理研究センター(RCNP)、京都大学化学研究所(ICR)のような大学の加速器研究室と強い共同研究を行っている。これらの共同研究は、加速器科学の発展及び次世代の加速器物理学者の教育のために大変重要である。

加速器が科学と産業にとって重要なので、NCACは、これらの共同研究が強化されることを勧告する。

RIBFに投じられた大きな資金と最近の業績により実証された大きな科学的可能性を考慮すれば、NCACは、現在の5ヶ月の運転レベルは悲惨なほど不十分であると考えている。NCACは、現在の財政的状况で科学的インフラストラクチャーの利用を拡大するための予算獲得が困難なことは十分承知している。しかし、我々は、もしも原子核科学における発見を可能ならしめるRIBFの特有な位置を力説しないならば、RIBFが現在示している唯一の機会に対して怠慢といわざるを得ない。

NCACは、原子核物理学界と社会に対する理研の責任を満足するために、施設の能力を完全に発揮させるには8ヶ月の運転が必要であると提唱する。

初期の研究計画の成功により、研究施設は直ちに世界最先端で指導的立場に押し上げられている。この成功は、i) 2008年になされた新しい加速器施設の技術的性能と運転特性の傑出した進展、ii) センターの経営陣により実施された、最良・最適で科学的に最も有望な研究計画を定めるための制度(国際課題選定委員会(PAC)と国際的参加を増大させる手段を含む)、及びiii) 実験のための初期の基盤計測装置を構成する第1級の装置類、に基づくものである。

基幹となる新しいスペクトロメーター群は現在開発及び建設中である。より詳細な研究とさらなる科学的進展に必要な他の装置群は考案の初期段階にある。これらのいくつかはかなり精妙で高価である(例えば、高分解能、高位置精度のゲルマニウム球ガンマ線検出器)。それらは必要とされる特殊な専門能力を結集するため国際共同研究で実現されることが適切である。国際コミュニティの長期的な支援と関与を得るために、初期の段階から国際コミュニティを巻き込むことが重要となろう。

NCAC は、計測機器の将来の開発と初期の段階から国際コミュニティを巻き込むために、制度化された手順を確立することを勧告する。

この手順を進める公式の手順としては、特定の技術的専門性に応じてケースバイケースで委員を補足する必要があるが、現在の PAC を使うことが考えられる。

今や RIBF は運転されているので、国際連携が全てのレベルで増大するであろう。しかし、仁科センターの研究者は、特定の計画を通して国際的な科学的連携を促進し続けるべきである。例えば、一般的なものを超えた狙いを定めた情報伝達は、仁科センターが取りうる一つの行動である。

NCAC は、主要国でのワークショップ、学生交換プログラム及び情報伝達強化による国際的関心の育成のような、さらなる国際参加を推し進めるため特定のプログラムをセンターが実行するか、あるいは強化することを勧告する。

NCAC は、仁科センターを3つの機能的に関連する部門、すなわち i) 理論、ii) 素粒子物性、iii) RIBF 研究、に組織化する提案を歓迎しつつ支持する。我々は、各部門に対応して3名の副または准センター長が任命されるべきことを提唱する。

NCAC は、RIBF 研究部門の重要性と大きさを考慮すると、理研は、そのリーダーシップを明確にするために、より広い、できる限り国際的なアプローチを検討したほうが良いと特に言及するものである。

新しい組織構成ではまた、仁科センターの中の理論の注目度が上がるであろう。前回のアドバイザー・カウンシル報告書での提唱に従い、仁科センターは原子核構造と反応について研究する理論グループを加えている。この点は実験計画の焦点と合致している。安定ラインから遥かに離れた原子核を研究する活動的な理論グループを導入する動きは、NCAC により高く評価される。NCAC は天体核物理学におけるリーダーシップのためにさらなる機会があることを望むものである。

NCAC は、理論研究部門に天体核物理学における理論のポストを加えることを勧告する。

理研は、科学と社会の改善のために原子核物理学と計測技術の応用の促進で長い伝統を持っている。この伝統は、仁科センターの現在の研究施設で局所的に、理研の他の場所での活動として、あるいは世界の中で(理研-RAL)一定のテーマとして維持され続けている。

我々は、加速器応用研究開発室と産業連携チームが、RI の生産と頒布、重イオン照射による植物突然変異、及び生物照射の独特な能力を有していることについて特に言及する。日本にはそのような応用のための加速器が他にもある(例えば、日本原子力研究開発機構高崎研究所の AVF サイクロトロン、放射線医学総合研究所の HIMAC)。

NCAC は、仁科センターの経営陣は、利用者の要求を調整するため加速器研究所を結ぶネットワークを作ることが望ましいか否か調査すべきことを提唱する。

RIKEN-RAL 施設の国際諮問委員会は、理研-RAL 施設は、精力的なユーザーコミュニテ

ィに仕え、優秀な科学を作り出している独特の機器を提供していると結論を下している。最新技術を用いた装置の開発のために使用される優れた技術的スキルが、強力な物理チームの力量と働きを十分生かしている。理研はそのような功績に誇りを持つことができる。

NCAC はまた、均衡の取れた将来計画(これは認識された強みの上に立ち、世界レベルの科学を最大化するものである)を産み出すためには、将来の投資は最も刺激的で野心的なプロジェクトに対してなされるべきであるという原則(理研-RAL 国際諮問委員会の報告書で表明されている)を支持する。これは、日本及び国際研究コミュニティとホスト施設間の関与の増大を育成する最良の道である。

NCAC は、理研-RAL 国際諮問委員会の、「凝縮物質と分子科学」及び「超低速ミュオン源の開発」は、将来の RIKEN-RAL 施設プログラムの 2 つの中心柱として優先順位を与え、その継続的な発展を可能とする十分な資源が与えられるべきであるという勧告を是認するものである。NCAC は、さらに、理研-RAL 協定を 2010 年以降少なくとも 7 年半延ばして、2018 年まで延長すべしという国際諮問委員会の勧告を支持する。

理研-BNL 研究センター(RBRC)は、国際共同研究成功の模範である。RBRC により説明された物理学の課題は素粒子物理学における最も重要なものであり、今日までに得られた結果は大変有意義で長期的にもその価値が認められるものである。RBRC 研究プログラムの大きな強みは、一つの幅広いトピック、すなわち QCD に焦点を絞っていることである。その実験プログラムと格子計算プログラムを含む理論プログラムは、全て QCD 物質の構造と特性の理解に狙いが定められている。RBRC が、大きな科学上の発見をする可能性を持った、大いに成功する科学的事業であり続けることが期待できるしかるべき理由がある。長期的には RHIC の焦点は、eRHIC の実現に向けられるであろう。これは、QCD 研究の強力で独自の道具になるであろう。その能力は、核子のスピン構造と原子核内のパートンの役割を探るための既存の装置の限界を劇的に拡大するであろう。

NCAC は、RBRC は大いに成功しており費用効果が大きく、また最先端の科学を行っており、強力な支援が続けられるべきであるという RBRC 諮問委員会の見解を是認する。

ISIS ミュオン施設は、成熟した方法で科学研究を行っており、超低速ミュオン科学プログラムの展開で刺激的な段階に入っている。同時に理研-BNL の活動もまた、たいへん生産的で、現代の大いに興味ある課題に取り組んでいる。

NCAC は、J-PARC において将来同様な機会が訪れるので、関心のある関係者は理研 J-PARC センター設立の検討を行うよう提唱する。

結論として、仁科センターの研究プログラムは、多くの点で質が高く、多面的で、多くの点で世界を先導するものである。いまや新しい施設が運転を始めたので、仁科センターは、まさに最先端の国際的な指導的地位において輝かしい未来が約束されている。理研理事長から付託された諮問事項について、評価の要約を以下に述べる。

諮問事項についての評価要約

報告書の本文に記載されている仁科センターに関する NCAC の詳細な検討、及びこの要旨にまとめられている NCAC の勧告と提唱は、理研理事長により付託された諮問事項の背景のもとに見てもらう必要がある。以下にこれらの諮問事項について、NCAC の評価の要約を示す。

1. 科学的に大きな意義のある業績及び社会的インパクトのある業績を上げているか。科学史を飾る顕著な業績を上げているか。

RIBF の開発、建設及び成功裏の運転は、原子核物理学用加速器の歴史において大きな一里塚を刻むものである。施設は科学的成果を生み出す初期の段階にあるが、既に新同位元素を発見した。これらの及び将来の結果は、教科書の標準の記載内容となるであろう。理研における 113 番新化学元素は大きな科学的業績であり、基礎知識を増やし社会との関係を強めて人類の理解の進展をもたらすものである。

仁科センターにおけるこれらの技術的進展とともに、いまや原子核のより予言的なモデルや宇宙の化学的歴史の理解を含んだ原子核物理学の大きなブレークスルーの可能性が存在する。

RHIC/ブルックヘブンでの相対論的偏極陽子及び重イオンプログラムにおける理研の参加により、仁科センターは比較的控えめな投資で大きな関与を行うことができ、QCD 及びパートン物質の研究においてある程度指導的役割を果たすことができた。新しい協力形態とその結果得られる科学的発見は、科学の歴史上、断然顕著なこととなるであろう。

2. 研究センターは、外国の類似研究機関と比較してどうか。この調査に基づく可能な改善点を勧告してもらいたい。仁科センターは、世界の研究コミュニティの中でどこに位置しているか。

RIBF は世界を先導する RI ビーム施設である。他の施設よりも 1 桁以上高い RI ビームを提供できる。施設の全能力を発揮させるためには、仁科センターは実験に利用できるビーム時間の時間数の増大をはかる措置を取ることが重要である。これは、予算上の運転時間数を増大させ、ビーム開発と配分のための時間を減少させることによってのみできることである。科学的可能性を発揮させる上で決定的な点は、予算上の運転時間を 5 ヶ月から 8 ヶ月に増大することである。

仁科センターは、希少同位体研究においてリーダーであり、理研・RAL ミューオンプログラム並びに QCD 及びクォーク-グルーオン物質に関する理研・BNL 相対論的ビームプログラムにおける日本人グループにより、最先端かつ指導的役割が担われている。

理研は、物理学において世界中の研究機関の中でトップグループに入っていると当然考えられる。

3. 理研内外の研究機関との連携活動を評価し、国際的な連携活動を促進させるセンターの努力を評価してもらいたい。仁科センターの連携活動は、より良い研究業績及び社会に対するより大きな寄与をもたらす結果となっているか。

理研は、理研-RAL 及び理研-BNL センターとの国際連携研究についてしっかりした意志を示してきた。仁科センターの RIBF 施設もまた、有意義な国際連携を行っている。RIBF の完成とともにそのような連携研究を拡大する機会がさらに大きくなる。将来の研究プログラムを決めることとなる RIBF における主要な計測装置の開発では、国際コミュニティの早い段階でのより大きな関与により大きな前進が得られるであろう。国際的視点を加えることにより、科学的業績と社会への寄与の増大が期待される。

報告書

緒言

野依理事長の招聘により、仁科センターアドバイザー・カウンシル(NCAC)は、理事長により示された諮問事項を拠り所にして、仁科センターの組織、資源、運転、開発、科学プログラム及び進行中のプロジェクトをレビューした。

- 1- 科学的に大きな意義のある業績及び社会的インパクトのある業績を上げているか。科学史を飾る顕著な業績を上げているか。
- 2- 研究センターは、外国の類似研究機関と比較してどうか。この調査に基づく可能な改善点を勧告してもらいたい。仁科センターは、世界の研究コミュニティの中でどこに位置しているか。
- 3- 理研内外の研究機関との連携活動を評価し、国際的な連携活動を促進させるセンターの努力を評価してもらいたい。仁科センターの連携活動は、より良い研究業績及び社会に対するより大きな寄与をもたらす結果となっているか。

NCAC のメンバーは、矢野博士、本林博士及び理研チームに、我々の訪問の間の厚遇に感謝の意を表明したい。我々は、プレゼンテーション及び会合に係わり提供された書類の質と内容を高く評価するものである。以下に述べる主題に関する忌憚のない議論についても高く評価される。

NCAC は、仁科センターの加速器チームと他の全てのメンバーに、世界最大のサイクロトロン SRC からの最初のビームを取り出したことに祝意を表したい。この出来事は、加速器科学の歴史において重大な一里塚である。

その後まもなく最初の物理実験が、加速器と BIGRIPS スペクトロメータを繋いで行われた。この最初の実験で既にいくつかの新同位元素が生産されたことにより、RIBF が科学的発見の可能性に富んでいることが実証された。

これらの初期の業績は、RIBF がいまや原子核科学と「エキゾチック原子核」の物理学にとって世界を先導するセンターであることを明白に示している。

1. 組織

仁科センターは、5つの部門(加速器、原子核研究、共用促進、素粒子物性研究と加速器応用研究)、1つのグループ(安全業務)及び2つの国際施設(理研 BNL 研究センターと理研 RAL 支所)から構成されている。職員(定年制研究員、任期制研究員、テクニカルスタッフ、基礎科学特別研究員、ジュニアリサーチアソシエイト)は 182 名であり、外部研究者(客員研究員等)は 662 名に上る。研究分野の多様性及び人員と外部研究者の数を考慮すると、仁科センターを運営するために効果的で効率的な組織を有することが本質的に重要である。

我々は、仁科センターの組織の最適化に関してかなりの議論を行った。NCAC は、仁科センターの構成を機能的関係で3つの部門に組織する提案を歓迎し、支持するものである。それらはすなわち、

- 理論
- 素粒子物性
- RIBF 研究

である。

また、3人の代理又は副センター長を各部門に対応して指名することを提唱する。この管理監督のレベルは、関係する研究グループの数と多様性を考えると、正当化されるものである。

我々は、RIBF 研究部門の重要性と大きさを考慮すると、理研はこの部門の副センター長を決めるために、より広い、できる限り国際的なアプローチを検討するのが良いと特に言及するものである。

2. 資源とコミュニケーション

予算

RIBF への大きな投下資金と最近の業績で実証された大きな科学的可能性を考慮すれば、NCAC は、現行の5ヶ月の運転レベルは悲惨なほど不十分であると考えている。PAC で承認された実験の滞留は188日であり、およそ1年半のビーム時間に対応する。NCAC は、この滞留を減少させ、原子核物理コミュニティと社会に対する理研の責任を果たすため施設の能力を完全に活かすには8ヶ月の運転が必要であると提唱する。RIBF は、現在、原子核科学における発見を可能ならしめる上で独特の立場にいるのである。

コミュニティへの情報伝達

RIBF でなされた研究の進捗及び施設の能力に関するコミュニティへの情報伝達は、改善の余地がある。例えば、RIBF 季刊誌は登録された研究者にのみ配布されていて、潜在的に興味を持つ可能性のある人たちには配布されていない。

我々は、情報を可能な限り国際コミュニティに伝達するよう努力することを RIBF に強く迫るものである。このための活動の中でも、狙いを定めた国々でワークショップを組織して行うことが適切であろう。

3. RIBF 施設の加速器運転とプロジェクト

エネルギー345 MeV/u の $^{27}\text{Al}^{10+}$ の最初のビームは、2006年12月28日午後4時に SRC から取り出された。この出来事及びその直後の最初の RI ビームの生産は驚くべき業績である。この時間尺度での RIBF の完成は、2006年開催の前回 IAC では非常に野心的に見えた。そして、その業績は、センターのスタッフの献身と大変な能力のあかしである。

最初のビーム取り出し以来、スタッフは、RI ビーム生成のためにビーム強度を増大する上で重大な進歩を図った。ウランビームの強度は 1 桁以上増加し、 Ca^{48} ビームは施設の設計目標の近くで出された。この進歩は、SRC と BigRIPS の液体ヘリウム冷却システムでの油汚染による運転障害にも係わらず達成された。この問題の修理に、2008年2月から11月まで200日の停止を要した。この問題に対するスタッフの注意深い解析と解決は賞賛に値する。

RIBF 施設は、現在、開発の時期から運転状態に移行しつつある。この推移はうまく進められている。

加速器スタッフは、施設の性能を強化するため新装置の利用に向けて前進し続けている。新しい28GHzの超伝導 ECR イオン源が建設中であり、100kV電圧のプラットフォームに搭載される。有望なビーム強度の増大に加えて、これにより RILAC を用いた超重元素研究が RIBF 研究と独立に行うことができる。新しい4ロッドの入射器 RFQ と RRC 用のドリフトチューブリニアック空洞からなる新入射器が AVF 室に設置される予定である。

この新入射器の予算がついたことは重大で決定的な進展である。これにより、超重元素プロジェクトと RIBF 施設の同時運転を含めて、同時に3件のユーザーが利用できるようになる。このことにより、仁科センターの革新的な科学的アウトプットが倍増される可能性がある。

京都大学化学研究所にある300MeV電子蓄積リング KSR が、SCRIT 装置の開発のために使用され、住友重工の中古 SR リング、オーロラ2S が将来の SCRIT プロジェクトのための電子加速器として既に理研に移送されている。オーロラ2S からオーロラ2D 型リングへの改造のために、広島大学の HiSOR で、300MeV での電子ビームの蓄積が試験され確認されている。加速器グループの京都大学及び広島大学との連携研究は、SCRIT の開発のために大変効

果的であった。

RIBF 施設のコミッショニングと開発のフェーズの間、RRC、RILAC 及び AVF サイクロトロンを使用して重要な科学プログラムが成功裏に続けられた。これらには、新規超重元素の生成、凝縮物質研究、重イオンビームの応用、CRIB による RI ビーム及び RIPS による RI ビームプログラムにおける世界を先導するプログラムが含まれる。

世界で最も強力なビーム施設の運転により、とほうもない科学的発見の可能性がある。実際、既に、施設の予備試験的なビームにより行われた最初の各実験で、重大で驚くべき結果が得られた。科学的可能性を考慮すると、我々は、センターにより取られる高い優先順位は、実験のための運転時間の増大、より信頼性の高い運転、及びビーム開発時間の減少に向けられるべきであると推奨する。この目的を達成するために、我々は、進展をモニターする一連の指標を開発することを推奨する。中でも、マシン開発時間、RI ビーム開発時間、実験に使用された時間、及び実験に使用された計画時間対実際の時間の比の追跡を含めるべきである。

我々は、1次ビーム強度を増大させるセンターの計画について特に言及するとともに賞賛する。新しい 28GHz ECR は完成に近づいており、ガスストリッパーという手段も含めて、ストリッパーの寿命を改善するためかなりの努力が払われている。我々はまた、新規のコンパクトなサイクロトロンがいかにしてストリッパー技術の現在の制約を解決して、ウランについての設計強度目標を達成するものであるか、最初の考えを聞いた。我々は、センターが強度増大の努力を続けることを勧告する。なぜなら、本施設における発見の可能性は生成される RI ビームの強度に直接的に関係しているからである。

センターがビーム提供とビーム開発の間で適切なバランスを取ることが重要である。センターが強度目標を達成することが重要である一方、本施設は現在でも革新的な成果を達成することが可能である。我々は、強度増大にむけた進歩がなされる一方で、新施設を用いて実験向けの時間が最大になるよう慎重に検討することを勧告する。

本施設が運転フェーズに入るので、開発活動に必要な努力とユーザーのための運転に必要な努力は変わっていくであろう。ユーザーのニーズが汲み上げられることを保証するために、我々は、サイクロトロンの運転、RI ビーム生成、及びシステムの最適化の分野で、センターの経営陣は持続的な運転を達成するため必要な労働力を慎重に検討すべきことを勧告する。

将来の加速器開発プログラムは、技術的様相との結びつきと物理学プログラムの実現のための二つの点でよく計画されている。科学的成果の増大を可能ならしめるので、新しい入射器の建設とコミッショニングを強く勧告する。新入射器は、現在世界的に見ても特有である RI ビーム及び超重元素プログラムに専ら使われるビームを増やすために重要である。

仁科センターは、大阪大学核物理研究センター及び京都大学化学研究所のような、大学の加速器研究室と強く結びついた連携研究を行っている。これらの連携研究は、加速器科学の開発及び次世代の加速器物理学者の教育のために非常に重要である。加速器が科学と産業にとって重要であること考慮すると、我々は、これらの連携研究が強化されることを勧告する。

4. 物理の成果及び計測装置

新 RIBF における研究プログラムは 2007 年度に開始された。開始直後及び特に 2008 年後半に、顕著な最初の物理学の成果が得られ、この研究施設は直ちに世界の最先端で指導的地位に押し上げられた。これらの実験の成功は、i) 2008 年になされた新しい加速器施設の技術性能と運転特性の傑出した進展、ii) センターの経営陣により実施された、最良・最適で科学的に最も有望な研究計画を定めるための制度(国際課題選定委員会(PAC)と国際的参加を増大させる手段を含む)、及び iii) 実験のための初期の基盤計測装置を構成する第 1 級の装置類、に基づくものである。

加速器の性能の進展は、この報告書の他の部分で詳細が述べられている。科学的議論という文脈で、加速器のスタッフは、設計性能の特性を確立したばかりでなく、成功裏の研究プログラムの背後にあるに違いない性能の安定性と信頼性を与えるところの、同種で最初の施設での特定の骨の折れる数限りのない測定を系統的で焦点を絞った方法で実施するという傑出した仕事を行ったということは繰り返し言及する価値がある。

最初の研究プログラムは、センターの経営陣により執り行われた制度化された手順によって確立された。これには、最初の実験計装の長期間の開発と建設に加え、研究提案の広い募集と引き続き施設の国際課題採択委員会(PAC)による評価手続き含まれる。相応の科学的重要性があり、また最初の成果を早く引き出すことが許される重要な初日の実験の運営管理には特別の力点が置かれた。特に、最初に 2 つだったが今では 20 以上のこれまで知られていない新同位元素の発見を伴い戦略は成功であった。これらの発見は、安定から離れ原子核結合の中性子豊富な限界に向かう核図表の理解に重要なステップである。2008 年末に行われた一連の実験の成功は、実質上、2 つの重要なビーム種、すなわちウランと中性子豊富なカルシウム同位体 ^{48}Ca 、の改良された世界最先端の強度に基づくものである。記録的な主ビーム強度の提供に加え、新施設が生み出す核子当たり約 350MeV の増強されたビームエネルギーが、2 次反応率の予想もしない増加をもたらし、RI ビーム強度の増加となったのである。これが次に、これまで知られていない原子核に関する最初の分光学研究を成功させたのである。

これらの最初の一連の成功裏の実験により、本施設は大きな成功を収めた。世界中の注目を浴び、科学者と連携研究をますます惹きつけている。センターの経営陣は、我々が本報告書の 6 節で示す特定の段階を踏んで、そのような発展を促進することが奨励される。

この実験成功の主たる要素は、RIBF で開発され設置された第一級の基盤計測装置である。すなわち、2 段階、高アクセプタンスかつ高分解能の超伝導破砕片分離装置、及び粒子識別・検出機器の適切な補完がなされたゼロ度スペクトロメータである。さらなる基幹スペクトロメータが現在開発又は建設中である。これらは次の 3 設備である。(i) 高分解能の収束型スペクトロメータ SHARAQ(シャラク)は今年 3 月に最初のコミッショニングが予定されている。(ii) 放射性原子核からの電子散乱実験を行くことができる世界的に見ても独特の能力を目指している SCRIT 施設。(iii) 中性子飛行時間壁を備えた多粒子検出ができる、非収束だが受容力が大きい SAMURAI(サムライ)は 2011 年完成予定である。

基幹実験装置が建設中または建設予定で実験に利用できるようになる一方で、精妙な検出系が幅広く整備される必要がある。例えば、精密分光学のための全方位位置検出可能な高分解能ガンマ線検出器である。これらは、より詳細な研究と科学のさらなる進歩のために必要とされているものである。これらのシステムのいくつかは、例えば今述べた「ゲルマニウム球」型機器は、非常に高価で普通は国際的連携のもとでのみ実現可能であろう。近い将来の研究計画にとって適切な解(及び参加グループ)を見つけることが重要な仕事であろう。

第二に、NCAC は、RIBF に追加して整備する実験施設の現状と計画について聞いた。これらは大変刺激的で、しばしばかなり新規で独創性に富んだものである。これらを追求することが必要であり、健全な科学的議論がなされている。しかし、資金が制約され、利用可能な技術的、科学的労力が限られているため、より広い意味で経営陣が実行しなければならない評価のプロセスと優先順位付けが必要である。これがセンターの中あるいは日本の研究コミュニティの中で既にある程度なされてきたことは明白である。国際コミュニティからの長期的な支持と関与とを得るために、初期の段階から国際コミュニティをかかわらせることが重要であろう。**NCACは、計測装置の将来の開発及び国際コミュニティの初期段階でのかかわりのために、制度化された手順を確立することを勧告する。**

この手順を組織化する助けとなる、また現在進行中の科学プログラムと密接に結びついて助言する助けとなる公式の手順は、今まで良く定着した PAC に特定の技術専門家をケースバイケースで補うことにより実現できるであろう。

我々は、新 RIBF の立ち上げと関連した重要な最近の発展と成果に焦点を絞ってきた。一方 RIBF の仕事と平行して、他の加速器での研究プログラムが、特に 113 番元素を発見した超重元素の仕事及び 110 番と 111 番元素のための同位元素生成の仕事が、原子核構造の物理学の分野で大きな成功を収め大きなインパクトを与えてきたことに言及する必要がある。これらにより、理研はこの分野の研究で先頭を走る研究所となり、理研のプログラムの優秀さに世界中の注意を惹きつけているのである。

5. 原子核物理と計測の応用

理研は、原子核物理と計測を科学とより良い社会のために応用することを促進する長い伝統を持っている。この伝統は、仁科センターの現在の研究施設で、また世界における理研の活動の中で不断のテーマであり続けている。

特に、凝縮物質の物理、製薬目的の RI 生産、宇宙空間での放射線影響及び生物系への放射線の影響を含む科学の多くの分野にわたる幅広い応用がある。特に実用的重要性があるのは、進行中の植物の突然変異に関する仕事である。これは社会に甚大な利益をもたらす可能性がありうる。また、医療目的の特殊化された放射線医薬品の提供、及び生物系に及ぼす重イオンの影響の研究という拡大しているプログラムもある。超重元素の単一原子化学に関する基本的な仕事は、広範な国際的興味を惹き起こしている。これに関しては、新 RIBF はその全能力を発揮するに至っていないが、世界中の同等の施設と比べ既に競争優位に立ってい

る。

凝縮物質及び物理化学のプロープとしてミューオンを使用する理研-RAL施設でも、研究は大いに成功しており生産的である。この施設は、日本国内及び国際連携グループ内から多くの利用者を惹きつけている。理研-RALの連携は、RALでのパルスビームと関連してレーザーの使用の点で世界的にも特有である。低エネルギーミューオンビームを生成する努力は、世界中のコミュニティにとって特に重要である。イオン化レーザーの開発が期待通り進展すると、理研-RALのビームは、現在運転されているこの型で唯一のPSIのビームを超えるであろう。それは、応募利用が世界で最もしっかりなされるミューオンビームラインとなる。NCACは、低エネルギーミューオンビーム、検出器及びレーザーの分野で理研-RALでなされた開発は、全てJ-PARCでの予期される世界を先導するミューオンสปิน回転プログラムの成功裏の進化へ向けて本質的に重要であるということを特に言及するものである。

我々は、加速器応用研究グループと産業連携チームは、RI生産と頒布、重イオン誘起の植物突然変異及び生物照射について独特の能力を有していることに特に言及する。日本にはそのような応用を行う加速器が他にもあるので(例えば、日本原子力研究開発機構高崎研究所のAVFサイクロロン、放射線医学総合研究所のHIMAC)、NCACは、仁科センターは、レーザーの要求を調整するため加速器研究所を結びつけるネットワークを作ることが望ましいか否か調査すべきことを提唱する。

6. 理論

仁科センターの新組織では、素粒子物理、原子核構造及びストレンジネス原子核物理を研究する独立のグループからなる理論研究部門の設置が提案されている。これらは全て高度に国際的レベルで仕事をしている。この新しい組織構造で、仁科センターの中での理論の立場と注目度が強化される。この理論研究部門で、超ひも理論、ハドロン物理、ハイパー原子核物理及び原子核物理が扱われる。

前回のアドバイザー・カウンシル報告書での提唱を受けて、仁科センターでは、実験プログラムの焦点と合致した原子核構造と反応について研究する理論グループを設けた。安定性のラインから遥かに離れた原子核について研究する活動的な理論グループを導入した動きは、アドバイザー・カウンシルにより高く評価された。大塚教授に率いられた東京大学のグループと一緒に、原子核構造と反応の物理における理論活動は今や世界を先導するレベルにある。

NCACは、日本国内での連携及び海外機関との連携を開始して仁科センターの実験プログラムを支援する理論を強化する行為を歓迎する。この目標は、JUSTIPENのような国際連携ばかりでなく日本国内の種々の研究機関からの若手研究者を、米国の原子核理論コミュニティと結びつけるRIBF理論フォーラム、あるいはフランス及びドイツのようなヨーロッパの種々の国々との双務的協定を通して行われるRIBF理論フォーラムより達成される。仁科センターと東京大学原子核研究センターとの理論の連携は、実験プログラムにおいて見られる連携のように、有益な連携研究の良い例である。次世代の研究者の訓練は、学生と大学院生のための国

際学校への理論の力強い参加により達成される。

しかし、我々は、RIBF 実験の活力に伴う理論の包容力は、RIBF 施設のアウトプットを十分に使いこなすには不十分であると感じている。RIBF 実験プログラムの支援をさらに強化するために、**NCAC は、理論研究部門に天体核物理理論のポストを追加することを勧告する。**天体核物理的原子核合成のような分野で働く理論家との密接な連携は、仁科センターの利益となる決定的な天体物理実験を設定する助けとなるであろう。その結果来るべき将来において仁科センターは天体核物理学の先導者となるであろう。国立天文台のような日本の他の研究機関と連絡を取ることも、天体核物理における理論要素を拡大することにより、強化されるべきであろう。

7. 国際連携

施設は今や運転段階に入っているので、国際連携はますます重要である。特に、施設が世界クラスで独特なので、潜在的なユーザーに対する適切な宣伝が必要かつ有用である。

我々は、中国の研究機関との連携が発展していることを知った。また、他の研究機関との連携も次第に増大している。しかし、予期される目標に比較して、我々は、国際連携を強化するためにいくつかの努力がまだできると気付いた。

我々は、国際連携を加速するためのいくつかの例を列挙したい。

- 1 国際連携を加速するため、主要国でワークショップを行うことが鍵となる。こうすることによって、これらのワークショップに参加する人々に対して、施設をより躍動的に顕わにすることができる。
- 2 RI ビーム科学は、運転中のまたは多くは開発中の地域毎の施設により展開されるべき世界的な優先事項の一つである。ヨーロッパと米国が RI ビーム施設を有している事実を考慮すると、アジア諸国間の密接な連携(地域での努力)が特に奨励される。
- 3 ガンマボールの提案に関心のある多数の国で行うような、国際コミュニティによる新計装機器の大々的なレビューは役に立つ。そのような提案は、しばしば多くの国で議論されるが、個人的なベースでしかない。ひとつの実験に向かって系統的で同調的な努力はこれまでのところなされていない。これは主として検出器が大規模なことと、異なる研究機関による大きなコミットメントが必要とされるからである。それゆえ、この型の検出器を設計することにより、国内外で研究努力は加速されることとなる。このレビュー委員会は、たとえば既存の PAC でもよい。
- 4 理研-東京大学間の協定の下での連携研究は大変うまく行っている。他の国内大学とそのような連携体制を拡大することは、実際に連携する機関数を増やすばかりでなく、両機関の研究能力を強化するために重要である。そのような連携の取合せは、国内及び国際的な枠組みへと拡張されなければならない。

5 北京大学との協定のような、学生の交換プログラムは、教育の優れたきっかけとなる。上海交通大学との新協定も締結された。学校を開き博士コースの大学院生の交換が 2008 年に開始された。この形の努力を維持し強化することが、教育と研究の両目的のうえで大変重要である。

NCAC は、仁科センターは、さらなる国際参加を増やすため、主要国でのワークショップ、学生交換プログラム、及び情報伝達の強化を通じた国際的関心の育成といった特定のプログラムを実施し、強化することを勧告する。

8. 理研-BNL 研究センター

NCAC 全体の評価は、RBRC により説明された物理課題は素粒子・原子核物理の中でも最も重要なものであり、今日までに得られた成果は大変有意義で長期的な価値をもっている、というものである。RBRC 科学者の連携研究への寄与は、人数以上のものであり、RBRC は、重要かつ積極的な態度で、国際連携を育成し、その分野での若い指導者を育て上げてきた。さらに、RBRC が重大な科学的発見を行う可能性を秘めて、おおいに成功する科学的事業でありつづけるであろうと信じられるしかるべき理由がある。

RBRC 研究プログラムの大きな強みは、研究の焦点を一つの広いトピック、QCD、に絞っていることである。実験プログラムと格子計算プログラムを含む理論プログラムは、全て QCD 物質の構造と特性を理解することを目的としている。陽子スピンプログラムでは、「陽子スピン危機」(クォークのスピンは陽子の全スピンに対しておよそ 25%しか寄与していないという観測事実)の理解を得るため、クォークとグルーオンのスピンと角運動量の陽子の 1/2 スピンへの寄与の研究に焦点が絞られている。重イオンプログラムでは、超相対論的重イオンの衝突により生成される高温高エネルギー密度、極低粘性状態の性質の研究に焦点が絞られている。目的は、すなわち熱い QCD 物質の新しい形態が存在するか否か、存在するとすれば如何なるものか、性質はどのようなものかという、QCD の相ダイアグラムの研究である。理論プログラムでは、実験結果の理解に枠組みが作られ、格子上の QCD 方程式を解くことに焦点が絞られている。

1997 年にスタートして以来、RBRC は、BNL における重要な科学的成果へ大きく寄与しかつ参加しているばかりでなく、新世代の極めて有能な物理学者の訓練にあずかって力があり、米国と日本の物理学者間の強い国際連携を育成している。

RBRC は、運営のモードにおいてかなり独特であると言わなければならない。RBRC は、主要な研究所の環境からみて比較的小さな研究機関である。全研究成果への寄与はその大きさに不釣り合いほど大きい。例えば、PHENIX は 500 人ほどの科学者の共同研究であるが、去年論文を 13 発表した。これらの中で、RBRC は 17 名の科学者が 4 つの論文で指導的役割を果たしている。さらに、PHENIX の現在の副スポークスパーソン 3 名中 2 名が RBRC の人である。

RBRC の計算グループは、理研の外で、すなわち BNL の理論部門、コロンビア大学、英国の UKQCD 共同研究、特にエジンバラ大学とサザンプトン大学、及びドイツのビールフェルト

大学とうまく連携している。研究活動は、これらの連携を通して共通目的に集中して計算資源と研究者数を当てることにより強化されている。結果として、疑いなく格子 QCD 計算における世界の指導的連携の一つである。

RBRC は、国際連携で大きな利益を得るという力強い例である。優秀な物理学者の一団を訓練し、世界中の QCD の分野で新世代の若手指導者を育てることにより、RHIC の科学的成果が増強され人類の新しい知識が生み出されている。ここに見られる RBRC の記録は、他の研究所の類似のプログラムと対比して見ると、本当に強い印象を与えるものである。国際科学連携におけるモデルとして広く賞賛される。RBRC は、この重要な国際事業を発案し寛容に支援してきたことに対して日本に大きな信用をもたらしている。

将来を見ると、RBRC にとって RHIC で大きな科学的好機がある。衝突ルミノシティの増大、ウランビーム及び低エネルギースキャン能力、加えて PHENIX のアップグレードにより RHIC エネルギーにおける高密度物質は包括的かつ精密な方法で研究される。目標はより深い理解に到達することであろう。これには系統的不確かさに対する注意深い配慮、稀有の過程の測定に重きを置くこと、及び理論家と格子 QCD 計算の間の密接な連携が必要である。RHIC-スピンプログラムは、2015 年までに陽子スピンへのグルーオンの寄与の明確に決定すること、及び海クォークの偏極の測定を達成することに焦点が絞られている。

NCAC は、RBRC は大いに成功しており費用効果が大きいという RBRC 科学評価委員会の見解を是認する。RBRC は最先端の科学を行っており、RBRC への強い支援が続けられるべきであるという見解も是認する。

長期的には、RHIC の焦点は eRHIC、すなわち電子-イオン衝突装置、の実現に絞られる。その実現により、核子の構造と核子内のパートンの役割を探求するための既存の装置の限界を劇的に拡大するであろう。1997 年と同様に、理研及び日本は、世界を先導するハドロン物理施設の開発で大きな関わりを持つ機会を得るであろう。

9. 理研-RAL 国際諮問委員会

NCAC は、理研-RAL 施設は、精力的なユーザーコミュニティに仕え、優秀な科学を作り出している独特の機器を提供しているという見解に立っている。最新技術を用いた装置の開発のために使用される優れた技術的スキルが、強力な物理チームの力量と働きを十分生かしている。理研はそのような功績に誇りを持つことができる。

NCAC は、二つの鍵となるプログラムの柱、すなわち「凝縮物質と分子科学」及び「超低速ミューオン源開発」、が明確にされたという理研-RAL 国際諮問委員会の勧告に同意する。

「凝縮物質と分子科学」

NCAC は、この分野は高い生産性があり、理研-RAL ミューオン施設にとり有望であり、しかもますますそうなっていると考えた。そこではかなりの(数と質で)論文が生産されており、理研-

RAL の科学の社会利益との関連で重要な例となっている。日本中の研究者を惹きつける分野であり、アジア諸国で大きくコミュニティを拡大する機会となる。この分野での活動はまた、総括して ISIS 施設の主要な研究分野に位置づけられ、それゆえ、さらなる連携の発展のための重要な分野である。

国際諮問委員会は、この分野は将来の理研-RAL 施設プログラムの二つの中心柱の最初の柱に優先づけられるべきであり、また、継続して発展するために財政、マンパワー及び指導力に関して十分な資源が与えられるべきであると強く勧告する。

「超低速ミューオン源の開発」

NCAC は、理研-RAL 施設で開発されている低エネルギーミューオン源の独特の特性を認め、幅広い応用分野の高い可能性を持つミューオン科学における最も有望な分野の一つであると考へた。これらの応用は、種々の凝縮物質及び分子物理分野を含んでいる。加えて、将来の $g-2$ 測定に低エネルギーミューオン源を使用するアイデアの最近の発展により、本イオン源の開発がいつそう意義あるものとなる。

国際諮問委員会は、この分野は将来の理研-RAL 施設プログラムの二つの中心柱の二つ目の柱に位置づけられるべきであり、また、世界最良のパルス低エネルギーミューオン源を開発するため強力によく集中された研究開発努力が続けられるべきであると強く勧告する。

国際諮問委員会は、これらの二つの分野により、「今日の目を見張るような科学」の育成と「明日に向けた将来の科学」の間の健全なバランスを保証する核となる研究活動の基礎が形成されることを確信している。国際諮問委員会は、継続して成功することを保証するために、理研が現在の資源(マンパワーと財政の裏づけ)をこれらの両分野に集中することが必要であると考へている。

これらの二つの柱に集中して理研の世界的な科学の発展を保証するために、国際諮問委員会は、理研-RAL 協定を 2010 年を少なくとも 7 年半延ばして 2018 年まで延長することを勧告する。

これにより、認識された強みの上に立ち、世界レベルの科学を最大にし、最も刺激的で野心的な将来計画のみに強力に投資し、ホスト施設と一緒に日本と国際研究コミュニティの関与の増大を育むような、均衡の取れた将来プログラムが産み出されるであろう。

理研 J-PARC センターに向けて

ISIS ミューオン施設は、今や成熟した様子で科学を産み出し、超低速ミューオン技術で科学の刺激的な段階に入っている。同時に、理研-BNL の活動もまた大変生産的で、現代の際立った興味のある課題に取り組んでいる。

NCAC は、J-PARC における将来の機会を望ましく思い、興味を有する関係者は理研

J-PARC センターの設立を探求することを提唱する。

このセンターの創造は論理的であり、進行中の RAL 及び BNL での活動により刺激されたミューオン及びハドロン科学における増大する日本の関与から利するところは大きいであろう。

仁科センターアドバイザー・カウンシルを代表して

(サイン)

S. Gales

NCAC 委員長