

理研仁科センター
諮問委員会報告書



2014年8月29日提出

目次

I. 前書き	1
II. 組織, 運営および予算.....	2
III. ハイライト, 運転および新規提案.....	4
IV. 理論.....	8
V. 仁科センターにおけるハドロン物理学.....	10
VI. 加速器応用	11
VII. 理研 BNL 研究センター.....	13
VIII. 理研-RAL.....	14
IX. 戦略計画	16
X. 仁科センターと理研の他のセンターとの領域横断的な研究.....	19
XI. 結論.....	20
付録	
NCAC2014 メンバー一覧 (省略)	
RIBF PAC (課題採択委員会) からの手紙	22

仁科センター諮問委員会 2014 年報告書

I. 前書き

仁科センター諮問委員会 (NCAC) は 2014 年 7 月 1 日から 3 日にかけて理化学研究所において開催された。委員会メンバーのリストを付録に記す。2011 年の委員会 (NCAC2011) 報告書にしたがってとられた対応, 理研仁科センター (RNC) のプログラム, および将来計画の提案が委員会に示された。

委員会は, 仁科センターにおけるプログラム全体に極めて強い印象を受けた。研究ハイライトとして, 多くの新同位元素の発見, 安定から遠く離れた領域で得られた殻構造変化の証拠, 速い中性子捕獲過程の道筋を決める上での大きな進展, および 113 番元素の決定的な確認を挙げることができる。ビーム強度と核種の増大は, 最近新たに加わった主要実験装置とあいまって, RIBF を世界一の高速放射性イオンビーム施設に押し上げた。現在の構成をもって, RIBF は少なくとも今後 5 年間放射性ビーム研究で世界を主導するであろう。提案されているアップグレードが行われれば, 少なくとも次の 10 年間は世界の先頭に立つ施設としての地位を保持できる。しかし, そのためには, 今後, 過去数年間に比べて格段に長い時間にわたり放射性ビームを実験者に提供する必要がある。この点は, 過去数回の委員会で指摘されたことであり, また本報告書に添付してある野依理事長と延與センター長に宛てられた最近の課題採択委員会 (PAC) からの書簡でも指摘されている。もしも理研が 8 ヶ月近い運転を可能とする資金を用意できなければ, RIBF は放射性ビーム実験の最も優れた施設でありながらビームタイムを得ることがほぼ不可能な施設として知られることになる。そうすると, 国際的なユーザーをはじめとする実験研究者の興味と支援は急速に失われる。

RNC における他の研究活動もこの 3 年間に進展している。原子核理論, 中でも格子 QCD における大きな進展, ラザフォード・アップルトン研究所およびブルックヘブン国立研究所での国外研究プログラムの継続的成功, J-PARC および SPring-8 でのハドロン物理に向けた実験準備の進展を例にあげることができる。以下では, これらのおよびその他の研究に関するより詳しいハイライトを, 将来の検討のための提言とともに示す。本報告書における 5 つの主要な提言を以下にまとめた。それらは各々関連する節でも繰り返し述べられる。

主要な提言

- 最優先の提言として, NCAC は, RIBF の 8 ヶ月運転のための追加予算を確保することの必要性を繰り返しておく。RIBF にとって, 来たる時代の唯一無二の好機を十分に活用して, この研究分野で世界を主導する地位を確立し, それを保持するためには, この手段をとること以外にあり得ない。
- NCAC は, 仁科センターが, 世界各地で建設されている新施設と競合できるように現状の RIBF に対する加速器アップグレードを精力的に遂行することを提言する。このアップグレードの工程は, 少なくとも 2025 年まで世界第 1 級の能力を維持することを目指すものでなければならない。
- NCAC は, 来たる 5 年間に少なくとも 10 の終身地位を確保して定年制職員数を増やすためのあらゆる努力を続けることを極めて強く提言する。仁科センターと理研は共同で, この職員増計画を立てなければならない。これは, 研究プログラム, 目標とす

る RIBF の 8 ヶ月運転, および将来の大強度化計画の全体設計にとって決定的に重要である。この計画では, 退職するかまたは別の上級職に異動する科学者の後継問題を取り扱う必要がある。この問題を解決するための新しい取り組みには, 何十年もの期間にわたる研究努力への配慮がなされなければならない。

- NCAC は, 理論研究部門に, 主として QCD 理論とその応用に専心している現在の主任研究員 (初田) に加え, 原子核理論・宇宙核物理理論の分野を優先的に考慮して 2 人目の主任研究員の職位を設けることを提言する。
- 理研における現在の枠組みでは, 増大する加速器応用による産業利用に関して十分な動機付けが得られない。NCAC は, 仁科センターが理研と共に, この分野での成長を促進させる方策を追求することを提言する。

この報告書は, 委員会に付託された各判断項目に対応して構成されている。また, この報告書は, NCAC2011 報告書における提言をとり入れる取組みに対する意見, および, 委員会がその取組に対して変更の必要なしまたは変更の必要ありと判断した結果が述べられている。

II. 組織, 運営および予算

NCAC2011 の提言への対応の評価

(斜体が NCAC2011 の提言)

*RIBF における実験の時間をさらに増やすために, ビーム開発に費やす時間は削減されてきた。一方, 新しい施設にとっては, 新たなビームの開発, および現状のビーム電流で制限されているビーム強度を増大する事, に時間を振り向けることは重要である。今後, 運営陣は, ビームの開発の必要性和実験遂行の比重について慎重に検討し続けなければならない。これら二つの最適な組み合わせを見つけることは非常に難しい可能性はある。

RIBF の 1 次高エネルギー・ビーム強度は, 2011 年以来継続して増大されてきた。 ^{48}Ca に対して 415 パーティクル・ナノアンペア (nA で表記される全てのビーム電流は, 断わらない限りパーティクル (粒子) ・ナノアンペアを単位とする), ^{136}Xe に対して 38nA および ^{238}U に対して 25nA にいたるすばらしい世界新記録の (粒子ビーム) 強度が達成された。同時に, 施設が運転されている期間のビームのアベイラビリティは, 2011 年の 67% から 2013 年の 90% に増大した。かくして, 1 次ビーム強度, そのアベイラビリティおよび新しい 100nA での ^{70}Zn 1 次ビームの開発により, NCAC2011 の提言は満たされている。

*外部利用者の実験準備を支援するテクニカルスタッフが不足していることで, 実験の進展が遅れ, 実験全体の効率が落ちる結果となっていると思われる。さらにこのことで, 実験装置に責任を負う専門スタッフ職員に, 不当な負担をかけている。定年制職員の約 20% の増員は, 施設稼働の全体的な効率性をかなり高めるであろう。

また §3.3 より

*加速器科学に携わる定年制職員の数は, 施設の運転, ビーム強度の改善, 信頼性の向上及び施設のアップグレード計画立案のためには少なすぎる。我々は, 施設を 8 ヶ月運転に移行するときには, 加速器及び研究支援スタッフの定年制職員の数を増やすことを強く提言する。この高い水準は, スタッフに将来の研究プログラムを策定するための十分

な時間の余裕を与えるためにも必要である。

スタッフの 20%増員に向けた行動が仁科センター運営陣によりとられた。新規雇用のスタッフおよび他の研究センターから異動した人員は、2011 年から 2013 年の間に定年制スタッフの 3 人増に結びついた。労働契約法の改正により、任期制雇用者を期限なしの契約に転換することが可能である。

これにより定年制スタッフを 5 年間で 10 名増員できると期待される。しかし、現行計画によれば、加速器基盤研究部の要員数は（2014 年を通して）2 名増加するのみである。同時に、仁科センターの加速器部の技術スタッフ全体数は 2011 年度から 2013 年度まで一定（45 名）であった（定年制 17 名、契約職員 10 名、運転員 18 名）。現行の人員数は、性能と安定性に対する必要な改良を行って目標とする 8 ヶ月運転を実施し、同時に RIBF のアップグレードに関する野心的な計画を前進させるためには不十分である。

*理研が第 2 の 10MW 発電機を増設できれば、東電からの受電なしに RIBF を運転させる能力を持つことになるであろう。NCAC は、10MW 発電機増設の実現可能性調査を支持する。

理研本部は、政府による 15%節電要請に応えた時でさえ和光キャンパスにおいて研究活動が継続できるように 3MW の新ガスエンジン発電機の建設を決定した。推測するに、この節電要請は状況が十分よくなればやがて終了するであろう。3MW 発電機は RIBF 運転の全電源を供給するには小さすぎるけれども、ピーク・エネルギー消費時のピーク電力削減の助けになるであろう。

見解

3 部門制のもとで研究室とグループからなる現行の運営構造は、仁科センターの目的を達成し、NCAC2011 の提言に対応するために十分である。特に、センター長、副センター長および主任研究員の一致団結した行動が、トップレベルの研究プログラムとセンターの効率的運営に大きく寄与した。

スタッフの 20%増員に向けた行動が運営陣によりとられた。新規雇用のスタッフおよび他の研究センターから異動した人員により、仁科センターでは 2011 年から 2013 年の間に定年制職員の 2 - 3 人増となった。しかし、全体の職数は一定のままである。「ワンストップの方針」を掲げる共用促進部の設立は大きな成功を収め、全てのユーザーにとって有益なものになっている。

予算に関連する 2 つの点をここに記す。1 つは年間約 8 ヶ月の運転を維持するため十分な支援を獲得しなければならないという現行の問題であり、他の 1 つは日本政府によりなされつつある資金調達構造の変更という将来の潜在的問題である。両方とも将来の慎重な検討が必要である。

提言

- 最優先の提言として、委員会は、RIBF の 8 ヶ月運転のための追加予算を確保することの必要性を繰り返しておく。RIBF にとって、来たる時代の唯一無二の好機を十分に活用して、この研究分野で世界を主導する地位を確立し、それを保持するためには、この手段をとること以外にあり得ない。

- NCAC は、来たる 5 年間に少なくとも 10 の終身地位を確保して定年制職員を増やすためのあらゆる努力を続けることを極めて強く提言する。仁科センターと理研は共同で、この職員増の計画を立てなければならない。これは、研究プログラム、目標とする RIBF の 8 ヶ月運転、および将来の大強度化計画の全体設計にとって決定的に重要である。この計画では、退職するかまたは別の上級職に異動する科学者の後継問題を取り扱う必要がある。この問題を解決するための新しい取り組みには、何十年もの期間にわたる研究努力への配慮がなされなければならない。
- 委員会は、大学のグループを研究プログラムへ引き込むための方法として、併任を増やすよう強く推奨する。
- 委員会は、仁科センターの運営陣が国立研究開発法人に関連した付加的な資金調達スキームを十分探究するよう強く推奨する。

III. ハイライト、運転および新規提案

見解

NCAC は、施設運転の多くの面でなされた顕著な進展に対し延與センター長および研究スタッフと加速器スタッフに祝意を表明する：

- i) RIBF ビームを高効率化
- ii) ユーザーが利用できるビームの割合を増加
- iii) 最終目標の 100nA に向けた順調な進展として ^{238}U ビーム強度を 25nA まで増加
- iv) ユーザーのため他種のビームを開発

NCAC は上記努力を称賛する一方、加速器スタッフに施設運転の最適化を行うよう励ますものである。

NCAC は、安定の谷からはるかに離れた領域で多くの新しい同位元素を発見したこと、 N/Z 比の関数として進化する殻の性質や核の形状を通し、これらの同位元素の多くについて原子核構造を解明したことに対し、研究スタッフに祝意をあらわす。目を見張るような例として、 ^{42}Si , ^{54}Ca , ^{136}Sn の分光、 ^{43m}S の 4 重極モーメントの測定、 ^{37}Mg の分光学因子の決定、および $^{79,80}\text{Ni}$ のベータ崩壊半減期の測定があげられる。

委員会は、RIBF での研究を目指した大規模な国際的共同研究の構築に大きな進展がみられたことを喜ばしく思う。これは EURICA によるキャンペーンの成功、そして仁科センターの新しい共同研究コンセプトである PSP (科学研究プログラムの提案) を核に設立された、SEASTAR 共同研究につながっている。

NCAC は、113 番元素が理研の発見となり得ることを確実に示したこと、および $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$ 反応による 116 番元素の 2 つの同位体 (^{293}Lv および ^{292}Lv) の確認を高く評価する。GARIS による $^{238}\text{Cm} + ^{50}\text{Ti}$ 反応からの 118 番元素の明白な観測と 118 番を超える元素の発見への研究グループの方向を強く支持する。実際、委員会は超重元素化学における強力なプログラムが発展し維持されることを見たい。

仁科センターは RIBF により、来たる 5 から 7 年の間に、放射性ビームを用いた研究の世界を主導するセンターになる唯一無二の機会が与えられている。この機会は、安定の谷を大きく越えて核図表を最大限に描き、原子核構造についての、また天体核物理学、特に r 過程の径路を描くための重要な発見をなすために利用されるべきである。この理由で、委

員会は、RIBFの8ヶ月運転の目標が加速器スタッフの多大な努力にもかかわらず実現されていないことに失望している。運転時間は2011年3月の地震津波災害後に減少している。この点は理解できるが、日本国内、国外のコミュニティに、施設が活用されない状態が続くのではないかと心配が生じている。委員会は、理研理事会がRIBFの8ヶ月運転のために必要な予算措置を支援するよう強く助言する。

この状況では、仁科センターがアップグレード計画または新技術のプロジェクトを考えるにあたって、それらがもたらす科学的機会ばかりでなく、施設を効率的に動かし毎年より長い期間運転する上での財政的影響をも深く考慮に入れることが重要である。

RIBFによる得難いデータ、特に中性子過剰原子核に関するものは原子核構造および反応モデルの限界を明らかにし、また有効性を確立する上で決定的である。委員会は、RIBFにおける実験プログラムが世界中の理論の発展にインパクトを与えることは、RIBFのリーダーシップにより、より明確になると言いたい。

以下に、我々は過去3年間のハイライトを示す。そのような一覧を示すことの一つの危険性は、研究プログラムのいくつかの重要な部分が提示されないかもしれないことである。この一覧は委員会によりとりまとめられたもので、したがって、委員会構成メンバーによる偏りが反映されている。

RIBF ハイライト

NCAC2011 会議以来の RIBF のハイライトは、3つのカテゴリーに分けることができる：
i) 施設の改良および運転にかかるハイライト、ii) 国際共同研究の開始にかかるハイライト、iii) 科学的ハイライト。

施設の改良および運転

前回 NCAC 会議以降の期間に NCAC2011 の提言にしたがって幾つかの重要な節目となる事柄が達成された。

- NCAC2011 以降、新入射器 RILAC2 がウランビームを用いて完全にかつ成功裏に運用開始された。
- 18GHz および超伝導 28GHz ECR イオン源の同時運転を含むいくつかの改良並びに RRC 電気偏向チャンネルの変更を通して大強度ウランビームが達成された。
- fRC が 2012 年に成功裏にアップグレードされた。
- 窓なしガスストリッパーが開発され、RRC と fRC の間の炭素膜ストリッパーが置き換えられた。これにより長年のストリッピングシステムの短寿命問題が解決された。またキセノンに対しては窒素ガスが使用された。fRC からの大強度のビームに対してはウランに対してベリリウム板ストリッパーを、キセノンに対して空気ストリッパーを fRC と IRC の間に必要とした。
- 上記の改善により、運転が高い効率でなされ、ユーザーに対する定常的なビームのオペラビリティは 90% 以上となった。ウランおよびキセノンビームの強度はそれぞれおよそ 25nA および 38nA となり、またより強度の大きい ^{70}Zn (123nA) および ^{48}Ca (415nA) ビームの供給を可能にした。これらは多くのイオンに対し 1,000nA およびキセノンまたはウランに対して 100nA という宣言された目標への途上である。

プログラム、プロジェクトおよび国際共同研究

国際共同研究によって、国際的に高い認知度を得ることになり、仁科センターで実施される研究に大きなインパクトを与えている。

- 国際共同研究 EURICA のもとで RISING ゲルマニウム・アレイを理研に持ち込むイニシアチブ。これにより過去2年間で傑出した成果を生んだキャンペーン（一連の実験活動）が成功裏になされた。
- 最近の SEASTAR 国際共同研究。これは仁科センターの新しい共同研究のコンセプトすなわち PSP のもとに確立された。DALI2 と連結して MINOS ターゲットおよび検出システムと DALI2 とを組み合わせた検出器を利用したイニシアチブに基づくものである。この共同研究は今年最初の実り多い実験キャンペーンを行った。
- 核廃棄物の核変換に関連した研究新プログラム。これは核変換による高レベル核廃棄物の低減および資源リサイクルのための ImPACT プログラムとして予算化されている。目的は、逆運動学による反応を利用して長寿命の核分裂生成物の特性評価データを収集することである。これは認知度が高く、日本および世界での社会的必要性が大きい。

科学的ハイライト

仁科センター/RIBF で実施された研究は、過去数年にわたり世界で推進された研究の最前線にある。それは大きなインパクトを与える論文誌に載った質の高い論文に結実している。さらなる興味深い研究への道を敷くような傑出していて胸を躍らせるような成果の幾つかを以下に示す。

- RIBF は現在引続き、新同位元素および核異性体を生成し同定するための世界で最も重要な施設である。NCAC2011 以来およそ 70 の新同位元素が RIBF で首尾よく生成されかつ同定され、18 の新核異性体が発見された。
- 多重反射 TOF (MRTOF) 質量スペクトログラフに基づく低速 RI の質量測定装置により、数ミリ秒の飛行時間で 50ppb (10 億分の 1) の質量精度が実証された。
- $^{36,38}\text{Mg}$ および ^{42}Si の大変形の観測を通して中性子過剰原子核について魔法数 20 および 28 の消失の証拠が得られた。特に、 ^{42}Si の γ 線分光で観測された 2^+ レベルの励起エネルギーが低く、これにより、大きな変形と $N=28$ 魔法数の消失が示されている。これにより、NSCL と GANIL で得られた以前の結果にかかわる論争が解決された。
- 大変形領域で、新しい型の p 波中性子ハロー原子核、 ^{31}Ne および ^{37}Mg の証拠が発見された。そこではバレンス中性子が大きく変形したコア核のまわりでハローを形成している。
- 同位元素 ^{54}Ca で新しい魔法数の証拠が発見された。 ^{54}Ca 中で $N=34$ が閉副殻であることを示す研究が Nature 誌で発表された。
- EURICA アレイを用いた核異性体分光により、中性子過剰の $N=82$ 原子核の低励起構造を決めるデータが得られた。この新データにより、パラジウムまで $N=82$ の魔法数のギャップがあることを示した。
- ^{12}Be および ^{132}Sn のビームを使用した逆運動学で (p, n) 反応を利用してガモフ - テラー強度の分布測定が行われた。これは理論モデルの試験と改良を目的としてなされた。
- $^{79,80}\text{Ni}$ の 5 つの新しい半減期を含む $Z=27 - 30$ 領域の 20 種の中性子過剰原子核の半減期が RIBF で測定された。
- スズの中性子過剰同位体 ^{136}Sn の第一 2^+ 励起状態が同定された。この結果により、 $N=82$ を超えるとスズの偶-偶核の 2^+ 励起エネルギーが低くなる傾向があることを確認した。
- 入射核破碎反応 (PF) によってスピン整列した RI ビームを生成することができることがわかっている。RIBF では、PF と分散整合の 2 段階の過程を使用した大きいスピ

ン整列度を得る新手法が開発された。これは *Nature Physics* 誌で発表された。

- カシオペア A における超新星爆発の直接トレーサーである放射性 ^{44}Ti の崩壊 γ 線のマッピング研究が焦点調節望遠鏡を用いてなされた。 ^{44}Ti のマップはいくらか非対称性を表していて、低モード対流を伴う穏やかな非対称爆発モデルを支持している。成果は *Nature* で発表された。
- 113 番元素の決定的な同定が、2012 年 8 月 12 日になされた。 $^{209}\text{Bi} + ^{70}\text{Zn}$ の冷たい核融合反応で新しい事象が観測され、よく知られた娘核種につながる 6 個の連続したアルファ崩壊連鎖により、 $^{278}113$ 生成の決定的証拠が得られた。
- イオンビーム育種は依然仁科センターの重要な応用研究のひとつである。NCAC2011 以降、桜の 2 つの栽培品種が新たに作成された：「仁科春果」および「仁科小町」である。また、共同研究で以下の育種が行われた： i) 商用の稲品種「ひとめぼれ」および「まなむすめ」、これらはこの前の津波に襲われた塩を含む水田で普通に成長することができる。ii) 収量が大きく環境適応性の高いワカメの栽培新種。

理論ハイライト

- 格子 QCD によるバリオン-バリオン相互作用の決定
- 格子 QCD の NN 力を使用した原子核物質の状態方程式の導出
- 京コンピュータ上での LQCD 計算において物理的 π 中間子の質量に到達
- ^4He 原子の少数多体束縛状態の世界で最も正確な計算
- 統計的に生成された Slater 行列式を使用した ^{12}C 構造 (Hoyle 状態を含む) の記述
- 重イオン核融合の時間依存シミュレーションおよび対生成による融合妨害効果の予測
- 形状ゆらぎが殻形成に強く影響しうることの予測
- 中性子過剰核における新型の集団的非結合ピグミーモードの予測
- 実時間確率過程量子化法を用いた粒子生成の定式化
- 中性子星合体の 3 次元一般相対論的ニュートリノ輸送シミュレーションに基づく r 過程元素合成の最初の研究
- 電子およびミュオン $g-2$ への 10 次の寄与の計算
- 新しい学際的フロンティアを促進する分野横断理論科学 (iTHES) 研究プロジェクトの発足

RBRC ハイライト

- RHIC スピン・プログラムでの積分ルミノシティ 630pb^{-1} の達成。これにより陽子スピンに対するグルーオンの寄与が初めて定量的に決定された。
- PHENIX において VTX 検出器が完成し、運用開始されて、データが円滑にとられている。このアップグレードにより、大きな p_T での荷電ハドロン検出感度が 2 桁改善された。
- PHENIX におけるミュオン・アームのトリガーのアップグレードにより、 W^\pm 非対称性測定を通して反クォーク・スピンのフレーバー分解の測定ができるようになった。
- 上記理論ハイライトに記した格子 QCD の主要な成果の一部は、RBRC の研究活動に関係したものである。
- 600 テラフロップスを超える計算機性能が実現された (2012 年 Ken Wilson 格子理論賞)。
- RBRC 実験グループリーダーの秋葉康之が、重イオン物理学における貢献により 2011 年仁科記念賞を受賞した。
- RBRC を通じて育成された多くの若手研究者が、現在は日本の主要研究機関で終身職

位に就いている。

RAL ハイライト

- 物性研究プログラムは引続き成功しており、この期間、質の高い論文誌への 24 以上の論文を含め全部で 250 以上の論文を発表してこの分野で世界を主導するものである。
- この領域における科学的ハイライト：
 - 量子スピンシステム (Nature 誌に発表), 分子性超伝導体および磁性半導体などのモデル磁気システムの詳細な研究
 - 有機および無機磁性システムにおける理研 RAL の加圧装置を利用した研究
 - 電池材料内の Li イオン拡散の研究。トヨタによる仕事を含む
 - 分子性半導体における電荷およびスピン動力学の研究
 - 合金中のナノスケール欠陥の研究
 - ポンプ-プローブレーザー実験による半導体中の電子偏極および振動励起水素の研究
- 新型クロノス・スペクトロメータの運用開始。これは RAL において強力な μ SR プログラムを維持する上で重要な役割を果たしている。
- 超低速ミュオンプログラムにおけるブレークスルー。これは、他の理研の研究グループと共同でレーザーとターゲット技術を開発することにより達成された。
- ミュオンにより生成されるシングルイベント誤作動を研究する電子チップ照射実験の展開。
- アジア諸国で μ SR 物性研究を促進。活気あるユーザーコミュニティを育成。理研とマレーシアの大学間の MOU 締結, バリとペナンにおける国際シンポジウムの開催, 韓国, インドネシアおよびマレーシアの科学者の理研 RAL 実験参加などが挙げられる。
- ミュオン占有位置に対する密度汎関数理論計算の開発。これは新しい領域の研究として重要である。

IV. 理論

NCAC2011 の提言への対応の評価

**仁科センターにおける実験活動とのつながりは勿論、理論研究者の努力は、RIBF に関係する物理の研究を行っている日本の大学の原子核理論グループとの共同研究を強化することで、さらに高められるべきである。これは、国内の理論フォーラムを設立し、そのような努力を調整することで強化される。*

委員会は、過去 3 カ年にわたり理論プログラムにおいてなされた大きな進展を下に記す。原子核物理に関係する理論プログラムの一部はスタッフのすばらしい増加により改善されてきた。これらの鍵となるスタッフメンバーの幾人かは、日本の大学で教授職に就くため離職の瀬戸際にある。これは研究努力のすばらしい成功のあかしであるが、後任のスタッフメンバーが任命されなければ生産性が落ちることも意味する。理論プログラムのリーダーたちは、物理学、化学、生物学および計算科学のグループを巻き込む理研での分野横断研究にもり出している。

**NCAC は、仁科センターにおける実験と理論の連携をより密接なものにするため、元素*

合成の大規模シミュレーションを行う天体核物理学の専門家を加えることを提言する。

および

*もしも彼[初田]が、東京大学との連携を継続し才能溢れる理論の学生を惹きつけることができれば、大きな利点になりうるであろう。理研は併任または兼務の可能性を探るべきである。

委員会は、2つの提言のうちはじめのものは、元素合成シミュレーションに最近理論の専門家を加えることによりなされたことがわかった。委員会はさらに、初田教授が引続き2016年まで東京大学の客員教授を務めることもわかった。

*我々[NCAC]は、理論の研究活動が原子核 - 素粒子物理学を天体物理学に結びつけることを期待したい。

仁科センターの理論部門により行われている天体物理学のトピックにかかわる研究活動は、実際のところ近年相当拡張されてきた。初田に率いられたグループは、中性子星の中心で実現される高密度ハドロン物質の天体物理的見地に関連するいくつかのプロジェクトを追及している。中務に率いられる原子核理論プログラムは、低エネルギー天体核物理学と強い結びつきをもっている。仁科センター内で「QCD から宇宙まで」という共通のテーマの下に、まとまりのある理論研究の枠組みを確立しようという現在進行中の試みがある。理論グループは、日本の素粒子 - 原子核 - 宇宙コミュニティを幅広く巻き込んだ文部科学省 HPCI プログラム（初田と中務が運営委員会のメンバーである）の「分野5：物質と宇宙の根源」の強力な構成要素である。NCAC は、宇宙核物理学における HPCI - 理研 iTHES 合同の取り組みを樹立したことを称賛する。

見解

仁科センターの理論研究部門は、初田哲男のリーダーシップのもと、世界の中でも独特の取り組みを行っている。委員会に提示された「QCD から宇宙まで」という大局像は、格子ゲージ理論（初田の量子ハドロン物理学グループ）、理論原子核物理および密度汎関数理論（中務のグループ）、厳密少数多体計算法に特徴を持つストレンジネス原子核物理（肥山のグループ）およびゲージ重力双対性に基づく物理（橋本の数理物理学グループ）など最先端の研究活動を含み、広くかつまとまりのある構成となっている。4つの理論グループの優れた複合体は、日本では当該分野で最強であり、種々の研究課題の間に橋をかけるために最適の枠組みを提供している：その目的は低エネルギーおよび高エネルギーの原子核および素粒子物理学現象の包括的理解であり、宇宙でのハドロンおよび原子核の果たす役割の解明である。NCAC は、初田のリーダーシップによる強力な学際的イニシアチブに感銘を受けた：それは物理学、生物学、化学および計算科学という異なる分野を結びつけた iTHES プロジェクト、そして神戸センターにある強力な計算機施設（京コンピュータ）を利用する HPCI（ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ）プログラムである。このグループは、解析的理論、先端的アルゴリズム、および高性能計算機施設（特に神戸センター）を含む広範囲の手法を利用している。最後に述べるが重要なこととして、理論グループは日本および世界の第1級の理論および実験グループと共同研究を行っている。

初田に率いられている格子 QCD 課題の目標は、強い相互作用の基本的自由度、すなわち

クォークおよびグルーオン，を単位として原子核物理学の基礎を築くことである。このグループは，物理的 π 中間子質量に対応する現実的なクォーク質量に向けた系統的に進みながら，核子 - 核子相互作用の開拓者的計算を行ってきた。これらの研究活動および付随する研究プロジェクトは，低温および高温の QCD 物質の特性，核物質の状態方程式および中性子星の物理学を研究する実験プログラムに関係したユニークな予言を提示し始めている。原子核多体問題の研究では，中務に率いられて，時間依存の密度汎関数理論およびその拡張が用いられている。弱く束縛された中性子過剰原子核に関する予言は，RIBF での実験プログラムを下支えしており，将来の研究計画への概念的基礎を提供している。理論の取り組みの他の要素（橋本および肥山に率いられているもの）も高い認知度を持つ。多くの若手研究者（ポスドクおよび博士課程の学生）が現在の理論プログラムに惹きつけられ，刺激を受けていることには元気づけられる。

この理論の取り組みの独自性を評価し称賛する一方，NCAC は，その将来を心配している。中務と橋本は最近大学の教授職を得て，近いうちに仁科センターを離れる。これにより仁科センター内の彼らのグループの研究活動が 2014/15 年に終了することになる。特に RIBF に関連した理論プログラムと実験プログラム間の相互作用を維持する目的で即座に後任を配置できるメカニズムが存在しない。この離職は，仁科センターでの理論の取り組みを揺るがすリスクがある。委員会としては受け入れがたいこのようなシナリオを回避するため，QCD 理論とその応用に主として専念している現在の主任研究員（初田）に加え，理論核物理および理論宇宙物理の分野を優先して理論研究部門に 2 人目の主任研究員を迎えることを提言する。そうすれば，理研の主任研究員は少なくとも 2 名の定年制研究員を雇うことができるので，理論部門の定年制のスタッフ数は少なくとも 6 名になり，今後の拡張も視野に入れた必要人員を確保することになる。そのような構造になると，理論プログラム全体のまとまりが保証され，仁科センター内外とのより幅広い共同研究が可能となり，関連する実験プログラムに対する知的支援を与えることになるであろう。

仁科センターのような機関における理論の意義について種々の意見を聞いた後で，委員会は，実験と理論との間の相互作用についての一般的見解をここで述べるのが有用であろうと確信する。科学的進展を最適化するためには，科学的手法の「実験 - 理論 - 実験」ループにおける正のフィードバックを強化することが重要である。理論の役割は，データの“事後”解釈に留まるべきではない。理論は，決定的な実験を同定するとともに，計画されている実験の科学的インパクトを評価することにより，将来の実験に対する道筋を描かなければならない。RIBF の理論イニシアチブは，RIBF に関係する実験研究者達との緊密な連携により，実験 - 理論サイクルの強化を目的とした積極的な交流を促進するための活動中心の役を果たすべきである。

提言

- NCAC は，理論研究部門に，主として QCD 理論とその応用に専念している現在の主任研究員（初田）に加え，原子核理論および天体核物理理論の分野を優先して 2 人目の主任研究員の職位を設けることを提言する。

V. 仁科センターにおけるハドロン物理学

NCAC2011 の提言への対応の評価

* NCAC は、日本の様々な大学に所属する研究者が、J-PARC および SPring-8 における仁科センター主導の実験プログラムを通じて共同研究を進めることを期待する。

委員会は J-PARC ハドロンホール拡張計画への予算要求を仁科センターからは行なわないという決定を、前回レビュー後にあった大きな変化として認識する。この決定は、KEK から予算要求をするという KEK の決定により、必然的に導かれた。今後、仁科センターは、実験主導組織あるいは主要共同研究者として既存のホールで承認された実験に集中する。この決定は、J-PARC ハドロン・ホールのユーザーグループ代表が報告しているように、J-PARC で実験を行っている他大学のグループ間にて広く認識されている。

見解

ハドロン物理学の大域的な目標は、原子核媒質中でのハドロン性質の変化を研究することにより、強い相互作用の理論により予言される質量獲得メカニズム等を明らかにすることである。そのような目的で、SPring-8 での η' 中間子原子核、J-PARC での K 中間子原子核および ϕ 中間子、RIBF での π 中間子原子および χ は FAIR での η' 中間子原子核等、様々な測定を行っていく。

しかしながら、J-PARC で起きた事故のため、計画された実験の一部および理研が支援する予定であったハドロン・ホール拡張作業はまだ始まっていない。実際上述のように、前回レビュー以降ハドロン・ホール拡張のための資金獲得は KEK にゆだねられている。

仁科センターの J-PARC での主な取組みは、現在準備中である E16 実験と今まさにデータをとろうとしている E15 実験である。これらは大規模な共同実験であり、KEK IPNS PAC から高い優先度を受けている。これらの実験で得られる物理的意義はハドロン物理学にとって重要なもので、他に比類のないユニークな実験である。理研は実験準備・実施を通してリーダーシップをとり、また、使用する主要な実験装置を提供している。

J-PARC では事故によって実験遂行が遅れているが、現在ハドロンホールの改修作業が進行中である。事故以前には、E15 実験等で使用される高いビーム品質での遅い取出し方法が確立され、E15 実験において物理データの一部を収集した。E16 実験に必要な高運動量ビームは、予算化され進行中のハドロンホール改造の終了後使用可能になる。この改造はミュオン稀崩壊のための COMET 実験ビームラインと、E16 他のための高運動量ビームラインの建設が目的である。

SPring-8 では、新スペクトロメータ (LEPS2) の建設が終わり、光生成された η' 中間子と原子核との相互作用研究のためのデータ収集が開始された。本プロジェクトは、理研仁科センター・大阪大学間で締結されたクロスアポイントメント制度を活用し、強力で推進された。

仁科センターにおいて第 3 期中期計画期間中に開始されたこれらのプログラムからは、まもなく興味深いデータが提供されることが期待される。これらの研究範囲はたいへん多様であるため、成果を迅速に発表するためには鍵となる部分に集中して結果を出すことが必要である。

これまで RNC においてハドロン物理を推進してきた主任研究員が間もなく退任を迎え

る。彼らの後任となるハドロン物理研究分野の新規主任登用がなければ、理研仁科センターがこれまで推進してきた当該分野におけるリーダーシップを失う事になる。

提言

- NCAC は、J-PARC および SPing-8 での現在および将来のハドロン物理プログラムにおいて、引き続き仁科センターの研究者が積極的に参加してリーダーシップをとることを提言する。

VI. 加速器応用

NCAC2011 の提言への対応の評価

**理研和光キャンパス内では、新たに設立された社会知創成事業と直接連携することにより、共同研究をより発展させるべきである。例えば、仁科センターの特有な製造能力の利用により、短寿命アイソトープでさえ和光キャンパス内で利用促進を図ることが可能である。*

AVF サイクロトロンでのマルチ-トレーサー同位元素の生産が、理研ライフサイエンス技術基盤研究センターのイメージング・チームとの共同研究にうまく機能している。動的原子核偏極技術を使用してMRI感度を改善するため理研の生命システム研究センターとの新しい共同研究が立てられようとしている。さらに、医療および産業応用のために ^{89}Zr , ^{124}I が生産され分配された。また最近では純化された ^{28}Mg および $^{86,87}\text{Y}$ が医療および生物学的研究のために開発されている。NCAC は、社会知創成事業と直接つながることにより和光キャンパス内で相乗的共同研究を引続き展開するよう仁科センターに勧める。この取組みは特定国立研究開発法人における分野横断的研究と非常に密接に結びついている。委員会は、この点の詳細を以下の別の節で示す。

**もしもこの（産業応用）プログラムが首尾よく成功するものであれば、より大きい産業界の利用者の需要に配慮した戦略が、主たる基礎研究活動と良いバランスを保持するため確立されるべきである。*

現時点で、産業応用への需要が研究プログラムを阻害してはいない。それにもかかわらず、医療および産業応用に向けた放射性同位元素の生産のためのAVFサイクロトロン(RRCサイクロトロンを利用しない)の利用増大による成長を受け入れるための戦略が実施されてきている。これは、研究プログラムへの干渉が最小にできることとユーザーに対する費用を低減させられることで、一石二鳥の利益がある。

**理研経営陣により、この専門性（原子核科学における主要な供給源センター）の認知度が上げられるべきである。NCAC は、応用研究開発室の認知度を上げるための仁科センター運営陣の努力を強く支持する。*

広報活動の最前線ですばらしい進展がなされており、科学および産業ユーザーのコミュニティ、政府並びに一般公衆を含む多様な利害関係者に対し応用研究開発室の認知度を上げるためにいくつかの新しいイニシアチブが開始されている。これらのイニシアチブには、仁科センターのホームページ上および新しい広報誌 RIKEN で特集される記事、新聞記事、

テレビ番組，並びに文部科学省で行われるプレス・リリースが含まれている。戦略的広報の推進に特に焦点を絞り，研究と運営側の共通部分を意識して再編された広報委員会があらたに組織されている。

見解

放射性イオンビームを用いた加速器応用は広い範囲にわたっている。すなわち，超重元素 (SHE) 化学および RIBF プログラムのイオン源のためのターゲットと特殊材料の製造という基礎研究から，医療利用用，ガンマ線検査用，および産業材料の実時間磨耗診断のためのトレーサーとしての放射性イオン生産のような社会的利用のための応用研究まで広がっている。後者の応用は産業界との密接な協力のもとに進められており，特許を申請するまでに至っている。

他の特筆すべき応用には，2011年福島第一原子力発電所事故および食物に対する放射線照射，たとえば放射線生物学 (酒)，ワカメの植物育種 (海草)，耐塩性イネなど，の影響の試験および解釈が含まれる。これらの研究活動は，地域の特定のニーズに適合させた加速器応用を促進させるための手本となるモデルの役を果たすことができる。このグループは ImPACT とよばれる新しいプログラムをもっている。それは，長寿命同位元素の核反応断面積を測定するものである。目標は核変換で高レベル核廃棄物を減らしリサイクルすることである。このプログラムは NCAC 会議の直前 6 月に承認され，日本における加速器駆動核変換に向かって一步を踏み出したところである。

応用研究活動が増加してきた際には，基礎と応用研究の分野の間の適切なバランスをとることに注意が払われなければならない。委員会は，これら両方の領域をサポートすることの重要性を認識しており，そのように執り行われるよう運営陣に優先度を設定するよう勧める。特に，運営陣は応用研究開発室と共に，産業的，社会的および経済的な加速器応用を明確にし，目標とその主要到達点を設定すべきである。

提言

- 産業界とのつながりを強化・拡大させること。人的資源の制約を克服するため，有償頒布に関しては，外注利用者の多い RI の製造ではその費用を顧客/ユーザーに負わせること (全費用回収の料金として含めること) の可能性を検討すべきである。
- 産業界と共同で加速器応用のための R&D を検討すべきである。可能性の高い資金調達モデルとしては，a)開発に直接関与する人員，b)研究プログラムに使用できる現金，及び/または c)現物の産業界による負担，があろう。現物としてはたとえば実験計装機器などがあげられる。そのような産業界との協力的な R&D のためのシステムが，より推奨され促進されるべきである。
- 装置や機器の部品の照射の方策を練ることは，応用の可能性が高く仁科センターの収入源になるかもしれない。これは理研および日本の産業界の両者にとり利益となる前途有望な分野である。
- 仁科センターの運営陣に，やがては商用と成りうる新規の医療用同位元素の生産に繋がる研究開発のために，種々の理研センター間 (たとえば仁科センターと脳科学総合研究センター) および他の研究機関との間で緊密な協力関係を築く機会を積極的に追求することを勧める。
- 理研における現在の枠組みでは，増大する加速器応用による産業利用に関して十分な動機付けが得られない。NCAC は，仁科センターが理研と共に，この分野での成長を

促進させる方策を追求することを提言する。

VII 理研 BNL 研究センター

NCAC2011 の提言への対応の評価

**RHIC における高エネルギーQCD の将来展開により, RBRC に現在 (加速器と検出器の R&D) および将来の科学のための大きな機会が与えられる。*

RBRC は、幅広い理論、計算および実験のための装置を用いて、ニューヨーク州アプトンのブルックヘブン国立研究所にある RHIC 衝突加速器において高エネルギーQCD 物質を理解することに集中した成功裏の国際科学共同研究を引続き行っている。RBRC は、RHIC に対して、ユニークなスピン研究機能を付与しており、核子スピンの起源についての新しい知見を生み出している。その上、衝突型加速器におけるこれらのスピン研究機能は、計画されている eRHIC 加速器のかなめ石でもある。eRHIC の科学の焦点は、QCD の精密な理解である。RBRC は、RHIC から eRHIC への進化が実現した暁には、その大きな科学的可能性を生かすのに最も有利な立場にある。

見解

RBRC は、陽子スピンの起源を研究する上で引続きリーダーの役割を果たしている。2013 年に、RHIC スピンの積分ルミノシティは、衝突陽子ビームの 50% 偏極度で 630pb^{-1} という素晴らしい値に到達した。開拓的な RHIC スピン実験から得られた結論は、グルーオンが陽子スピンに対して重大な寄与をなしているということである。このことは、すでに取得されたデータの解析が進めば、さらに定量化される。

RBRC は、 W^\pm 非対称の測定を通じた反クォーク・スピンのフレーバー分解の測定を可能とする PHENIX 共同研究のミュオン・アームのトリガーのアップグレードにおいて主要な役割を果たした。RBRC はまた、QGP を研究する重イオン衝突実験において重要な役割を果たした。秋葉が、QGP の研究に対する貢献、特に高温高密度物質の初期温度の決定の成功、に対して 2011 年仁科記念賞を受賞した。

RBRC の物理学者は、PHENIX の新しいバーテックス検出器の開発を率いた。この検出器は今では通常運転されている。それにより大きい p_T に至る荷電ハドロンおよび重クォーク生成がきれいに測定できる。これは RHIC の 2014 年の金 - 金衝突実験で採用され、RHICII のルミノシティ目標が達成された。

NCAC2011 以来、RBRC で利用できる計算機の性能が 600T フロップスを超えた。これにより、ハドロン物理学における基本的な観測可能量の多くの重要な計算が実行できるようになった。我々は、 $K \rightarrow \pi\pi$ 振幅の計算に対して 2012 年に RBRC グループが Ken Wilson 賞を受賞したことを特記したい。

将来を見ると、RBRC の科学者は、sPHENIX として知られている検出器のアップグレードに関する仕事をしている。sPHENIX の科学的焦点は、sQGP を生成する超相対論的重イオン衝突におけるジェット・クエンチングとクォークonium抑制を精密に研究することである。BNL により提出された将来計画の中で、sPHENIX は 2021/2022 年にデータを取得す

る予定である。

長期的な BNL の計画は、RHIC を電子-イオン衝突型加速器 eRHIC に転換するものである。eRHIC の科学上の焦点は、レプトン・プローブを使用して高エネルギーQCD 物質を理解することである。米国の QCD コミュニティ (BNL およびジェファーソン研究所) は、将来の装置としての電子-イオン衝突型加速器に合意しており、米国 2015 長期計画策定においてそのような装置の新規建設を優先させるよう原子核物理学コミュニティ全体に対して支持を要請するつもりである。もしもそのような優先順位が確立され、eRHIC の設計が採用されるならば、sPHENIX は eRHIC 検出器にそのまま転換することができる。この転換は ePHENIX とよばれており、RBRC が重要なリーダーシップをとって用意された ePHENIX の研究趣意書に対する 2014 年 1 月の査読結果は好意的なものであった。

提言

- 全体として、RBRC は、RHIC 運転の残りの期間から引き出せる科学的成果を最大にできる位置を占めており、さらに新しい科学的機会 (eRHIC) が米国において花開いたときには、eRHIC を最大限に活用することができる位置にいる。NCAC は、このプログラムに引続き取り組むよう提言する。NCAC はまた、この取り組みのリーダーとしての延與博士の後継者を見つける事こそがその未来にとって決定的要因であると考えている。

VIII. 理研 RAL

NCAC2011 の提言への対応とその評価

* 委員会は、次の 2 本柱の研究を重点的に進めるにことにより、理研 RAL 施設の成功を更に積み上げるよう提言する。

— 物性研究：ユニークなクロノス・スペクトロメータの十全な活用

— 超低速ミュオン(USM)：新たなレーザーシステムの開発

* 理研 RAL の現在の成功を確約するためにコアとなる理研 RAL スタッフを確保することが必要である。USM の開発だけでなく、クロノス・スペクトロメータを支えるスタッフに十分な人的資源を配分すべきである。これは、今後 J-PARC の活用へと飛躍する上でも重要である。

* USM プロジェクトに関しては、より具体的なアクション・プランの作成が必要と成る。

* 震災後の日本のミュオン研究者支援プログラムを理研 RAL 施設で行ったことを評価する。

* 日本および国際コミュニティと共に、更なる物性研究プログラムの成功を積み重ねることで、第 3 期中期計画の終わりに J-PARC へ活動を移行させることが重要である。

とりわけ物性および分子科学分野において、理研の他の研究所及びセンターとのさらなる研究協力の機会を探ることは重要である。

委員会は、理研 RAL 施設の柱となる 2 つの重点研究活動方針を支持する。委員会に示された物性および分子科学のプログラムでの成功は、この施設が世界を主導していることを明らかにしている。また、この施設におけるレーザーおよびターゲット技術開発の進展は、超低速ミュオン源実現を確実にするものとして、特筆に値する。

委員会は、2011年の東日本震災後に多くの J-PARC 実験をイギリスの施設で実施することを可能とした理研 RAL と J-PARC の協力関係を称賛する。

見解

物性および分子科学プログラムは、理研 RAL にとって今後とも大変重要な分野である。磁性、超伝導、イオン拡散およびスピンと電荷の運動など、広範で注目度の高い研究分野で多様な科学プログラムが継続されている。更に、パルスビームと同期したレーザー励起や高圧下での物性研究手法を提供できることは、理研 RAL 施設を特徴付けており、本プログラムをより強力なものとしている。施設の生産性は極めて高く、委員会に提出された引用頻度の高い研究成果の一覧は、この施設から出た成果が科学的に高い価値を持ち世界をリードしていることを強く証拠づけている。

前回の委員会以降に新たに展開された研究領域として、電池材料中および生命科学における拡散の研究などが在る。また、物性研究スペクトロメータとして2台目となるクロノスは高データ収集率であり、ISIS で開発されたデータ収集システムによって運用が開始された。更に、ISIS との従来にも増した技術的、科学的協力が花開こうとしている。その顕著な例が、密度汎関数理論計算に基づくミュオン静止位置に関する理論研究である。

前回の NCAC 会議以降、電子チップ照射実験が施設にとって重要な新規可能性となっている。この研究活動は、産業界との強い関係を構築する上でも将来成長する大きな可能性を秘めている。この分野では ISIS でも中性子を中心に連携が進んでおり、ミュオンにおいても相補的に研究展開を図ることを勧める。

超低速ミュオンプロジェクトは、レーザー微細穿孔で作られた室温のシリカ・エアロゲル・ターゲットからのミュオニウム生成増加が TRIUMF 実験で明らかに成ったことと、大強度ライマン- α レーザーシステムの開発により大きく進展した。これらの改良を併せることで、低速ミュオン束をほぼ1桁増強することは十分現実的であり、このミュオン源ミュオン源に基づく科学プログラムを想定することが可能となりつつある。理研の固体レーザー研究グループとの共同研究が高出力レーザーシステムを開発する上での鍵となった。この研究は、将来の J-PARC での超低速ミュオン生成および g-2 実験に対して重要な寄与をすることが期待されると同時に、表面および界面の研究に関して理研 RAL に新規施設を提供することにもなる。委員会は、これが、日本および欧州においてこの分野に新規参入してくる物性物理学者に大きな機会を提供すると考える。これによって得られる超低速ミュオンは、スイスの PSI に比べて優れた時間分解能と、より小さなスポットサイズが得られることは明らかである。

委員会は、理研 RAL スタッフがアジアで拡大中の物性科学コミュニティを引き入れるべく行った活動とその成功を称賛する。しかし、専従できるユーザー支援要員を増強することがこの分野での成功に必要なことに留意すべきである。

理研 RAL スタッフは、科学研究を主導すると共に、内外の研究者に対する適切なユーザー支援という2重の役割を果たしている。この施設における物性研究の成功は、理研 RAL スタッフの献身的研究活動に依存している。

ミュオン水素原子の超微細構造の測定に関する新規提案は、注目度の高いプロジェクト

である。陽子半径の決定は以前にも増して科学上興味深いトピックになっている。PSIでの最近のレーザー分光法によるミュオン水素原子のラム-シフト測定で決定された陽子サイズは、電子-水素のレーザー分光法で得られた値や電子散乱から推定された値よりもかなり小さい。ミュオン水素原子の超微細構造測定という新しい手法が、この分野における進展をはかるための有望な方法となっている。

陽子半径の測定実験の科学的重要性と期待されるインパクトを鑑みて、委員会は、詳細な実験提案書を高い優先度で完成させることを強く勧める。提案書が適切なPACにより精査され、この実験が物性および分子科学や超低速ミュオン生成という理研RALの既存の2本柱の研究へ与える影響も含める形で検討されなければならない。

委員会は、理研RAL協定が現行の形のままで延長されないと認識しており、**J-PARCへの移行計画を直ちに**策定する必要があると考える。その際に、理研RALの高い研究能力を維持することはJ-PARCにおける研究へと飛躍する際の足がかりとなることを考慮した上で、どのように研究者の活動場所をシフトするのか、施設撤廃にかかる費用、およびISISとの新しい協定の形等について十分検討することが必要である。

提言

- 委員会は、今後も従来の2本柱を軸に理研RAL施設を運営し、その成功を更に進展させるよう提言する。
- 委員会は、2本柱である物性科学および超低速ミュオンビーム開発で高い水準の成果を継続して引き出せるよう、2018年まで理研が理研RALを引続き支援するよう提言する。
- 委員会は、今後の理研RALからJ-PARCへの移行の助走期間における要員配置の戦略を練るよう提言する。若手科学者にとって、理研RALの運営はミュオン科学における中心的な研究者と成る上で優れた訓練の場を提供することを指摘したい。理研RALで訓練されたスタッフは、J-PARCにおける将来の活動に向けて即戦力となる。委員会は、2018年以降に理研RAL施設を具体的にどのように扱うかに関する計画を詳細に練り、早期にISISと議論するべきであると考えている。委員会は、施設改廃が不可避であった場合にどのような責任体制と計画で施設改廃を行うかの詳細検討を行うのと平行して、2018年以後、英国側が理研の設置した施設で物性プログラムを継続することを積極的に検討するよう英国側にも提言する。
- 委員会は、理研で最近設立された創発物性科学研究センターとの連携で研究領域が広がる可能性にも注目している。今後、このような連携を具体的に発展させるべきである。

IX. 戦略計画

NCAC2011の提言への対応の評価

*AVFサイクロトロンでのRI生成においては、ビームのエネルギーと強度を増やすための改良が広範なプログラムを実行するために必要であり、これに向けて努力することが推奨される。

*我々(NCAC)は、これら2つの選択肢(RIBFの長期的アップグレードに向けた2つの異なる選択肢)が、将来の施設のために可能性のあるアップグレードの道として追求さ

れることを提言する。もしも、両方の選択が実現可能であることが分かったが、資源の観点から一つしか実施できないとしたら、一つのアップグレードにより可能となる物理プログラムの潜在力に基づいた選択を行う必要がある。

NCAC は、AVF サイクロトロンをアップグレードするためになされた努力について説明を受けた。運転に関わる懸念のために、アップグレード計画が変更されることはなかった。むしろ、新しいサイクロトロンの建設を支援する資金を集めるための取り組みが開始された。

委員会は、将来のアップグレード計画について最新の情報の説明を受けた。ビーム・ストリップの必要な回数を減らすことによりビーム強度を飛躍的に増大するために必要な新超伝導リニアック入射器および新 fRC 加速器について日本学術会議へ提出した計画は上位のプロジェクトには入らなかったが、仁科センターは引き続きこのプロジェクトを進展させることを勧める。

見解

仁科センターは、RIBF という高品質の RI ビームを用いる世界一流の加速器システムとユーザーの志向に合致した実験装置群を有している。実効的な共用促進チームが、基礎研究について活動的なユーザーコミュニティを組織し、共同研究を行う有望な産業ユーザーを参加させている。後者は将来国際的産業ユーザーに拡大すべきものである。過去 3 年間にわたり RIBF における向上が首尾よく実現されている。これらは、特定の同位元素 (^{65}Zn , ^{88}Y , ^{124}I , ^{89}Zr , ^{109}Cd) にかかる RI ビーム生成技術の開発、超重元素の化学技術、電子機器の放射線の影響の研究、福島事故の土壌調査、回転物体の磨耗損失解析のためのトレース技術、農業での突然変異育種、および医療のためのイメージングのような加速器利用を基本とした優れた応用であり、またそれ以外の応用も達成されている。原子力発電所から出る放射性廃棄物の核変換のための核データおよび関連の研究を行う最近の新しいプログラムは、現存する社会的問題を解決するための良い選択である。これにより、政府の支援が得られるかも知れない。社会的なニーズを満たすためには、生命および医療科学、生物学、材料およびチップ産業への応用が強化されなければならない。

重要な付帯装置が完成したことにより、RIBF は、きたる 5 - 7 年の間にいくつもの新発見を行い科学的成果に対する新しい視点を展開するような、世界を主導するプログラムを実施する準備が整った。このプログラムは、十分な政府資金により推進され支援されるものでなければならず、ビーム時間が今後 5 年間で毎年 8 ヶ月確保でき、理研がこの領域で研究の最前線に君臨し続けるのに必要な研究スタッフを維持できなければならない。

産業利用からの収入は、施設の運転を支援し新しい能力を開発するための補完的予算として許されるべきである。長期的には、超伝導機器・装置のような新しい節電施設が推奨され開発されるべきである。

宇宙核科学については、NCAC は、重元素の生成機構の探求および爆発的天体現象に付随する元素合成サイトの同定を勧める。NCAC はまた、他の研究機関と共同で、ハドロンの構造およびそれとコンパクト星内の極限状態下での物質構造との関連性を調べる研究を推奨する。

RIBFの主導で、RIBFが2007年に運転開始されてから現在まで多くの新しい同位元素が発見された。次の10年間、さらに100の新同位元素が発見されることが期待される。委員会で提示された多くの改善がなされなければならない。たとえば、28GHz ECR イオン源のウラン用オーブン、fRC および SRC の改造、ガストリッパーの通過効率の改善、ウラン加速のための Be ディスク、RILAC 入射器用ガストリッパー、並びに RRC および SRC 用 RF パワーのアップグレードがある。放射性同位元素の産業応用、材料科学用偏極 RI, MRI へのトリプレット DNP の応用、および核変換のための基礎データは、社会的および経済的便益のために現在展開されている。2020年完了を目指したアップグレード計画が2013年に日本学術会議に提出された。それは上位27件の提案に載らなかったけれども、NCACは、加速器の設計と物理プログラムを改善した後、この提案を再度提出することを推奨する。重い中性子過剰な原子核の生成および分離並びに粒子識別技術の研究開発が、RIBFにおける強度増大と科学のために鍵となる課題である。

RBRC/RHIC-PHENIX および理研 RAL ミュオン施設/RAL のような他の施設で仁科センターの科学者により実施されているプログラムは、たいそう生産的であって、仁科センターの運営陣が説明したように継続されるべきである。近い将来、J-PARC および SPring-8 でのハドロン物理における取り組みが、新しい成果を出し始めるであろう。委員会は、FAIR のような新施設で将来の研究活動を検討することを勧める。

仁科センターが世界中でまた日本で建設中の新しいプロジェクトと共同研究を行うことは重要である。加えて、将来のアップグレードプロジェクトのための新しい加速器技術の R&D はできるだけ早く開始されるべきである。この R&D では、エネルギー資源の節約とリサイクルのような社会的ニーズを満たすための新施設に向けた努力を自己所有技術に基づいて行うべきであり、また次世代施設に向けて、新規挑戦的技術（超伝導リニアックと蓄積リング）と既存の研究に関連した構想力とを具現化する努力も必要である。

NCAC は、GARIS で行われている SHE 化学を含む将来の SHE プログラムについて提示された計画を高く評価し全面的に支持する。それは仁科センターの研究で主要な役割を果たし続けるべきである。118番元素を越えた元素を探索するための主たる研究内容に関して、アクチノイド・ターゲットと ^{48}Ca より少し重いビームによって描かれた道筋を全面的に支持する。

アベイラビリティを確保すること、おそらく共同研究を通して、および必要ならば多分 ^{249}Cf までの十分なアクチノイドターゲット物質を取り扱う許可を得ることが、安定で大強度の ^{50}Ti ビームの開発とともに必要であり、ビーム開発は将来のプログラムの成功のために最も重要な要素の一つである。この研究における提案された次の段階は、118番元素の合成反応中で2重魔法数をもつ ^{48}Ca ビームとおそらくは次善の ^{50}Ti ビームとの間の違いを調べることであるが、将来への道程を示す上で最も重要であろう。この点は、最優先かつ適切な量のビーム時間を与えて遂行されるべきである。一方で GARIS におけるより短時間であるがとても刺激的な SHE 化学実験のために十分な時間を用意することが必要である。

さらに、今は達成できていない超重元素の中性子過剰同位元素を合成するために、深部非弾性移行反応の可能性を開拓する基礎研究を実施することを強く勧める。そのようなプログラムを行って、また十分なビーム時間を確保することで、仁科センターは来るべき時代の SHE 研究において世界を主導する役割を果たすことができ、周期表の最も遠い場所という原子核物質および化学元素の存在限界に対する疑問に答えるために大きく貢献するこ

とができる。

「加速器応用」プログラムはたいへんよく展開されており、広い見通しをもっている。現在、それにはまだ(a)広いコミュニティおよび社会のニーズに応える仁科センターの可能性を全面的に開拓する人員が不足しており、(b)産業、私企業、大学および研究所のような外部ユーザーからの強い貢献も欠けている。これら2つの観点、人員と外部ユーザーの貢献、は、主流である基礎研究活動とうまくバランスさせてこのプログラムを広げかつ深めるために配慮されなければならない。

提言

(註：2番目の提言は先にあげられたものと同じである—それは報告書のいくつかのセクションに現れている)

- NCAC は、仁科センターが、世界各地で建設されている新施設と競合できるように現状の RIBF に対する加速器のアップグレードを精力的に遂行することを提言する。このアップグレードの工程は、少なくとも 2025 年まで世界第 1 級の能力を維持することを目指すものでなければならない。
- NCAC は、来たる 5 年間に少なくとも 10 の終身地位を確保して定年制職員数を増やすためのあらゆる努力を続けることを極めて強く提言する。仁科センターと理研は共同で、この職員増の計画を立てなければならない。これは、研究プログラム、目標とする RIBF の 8 ヶ月運転、および将来の大強度化計画の全体設計にとって決定的に重要である。この計画では、退職するかまたは別の上級職に異動する科学者の後継問題を取り扱う必要がある。この問題を解決するための新しい取り組みには、何十年もの期間にわたる研究努力への配慮がなされなければならない。
- NCAC は、仁科センターが、日本の社会に役立つ加速器技術の応用を精力的に追及することを継続するよう提言する。

X. 仁科センターと理研の他のセンターとの領域横断的な研究

見解

委員会は、仁科センターと理研の他の研究センターとの間で領域横断的研究を展開するための努力が継続してまた増大してなされていることを歓迎する。特に、加速器を基本とする応用について相乗的な共同研究が、社会知創成事業と直接連携して展開されている。

RIBF でのイオンビームを用いた生物学的実験について得られた成果は、すばらしくかつ独特のものである。これに伴う論文発表は領域横断的である。

仁科センターの理論研究部門によりなされた上首尾の学際的イニシアチブは、ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) および神戸センターの強力な計算機施設 (京コンピュータ) と連携した iTHES プロジェクトである。これは、物理学、生物学、化学および計算科学の領域の理研研究者と仁科センターの科学者を巻き込む大規模な合同研究活動である。理研内の iTHES イニシアチブは、宇宙核物理という統一されたテーマの下に RIBF の研究成果と iTHES を通して互いにつながっている異なる分野の研究者の科学的成果を統合し高めるものであり、理研における学際研究の力と多様性を示している。

動く器官用の MRI, および β -NMR 用の新規開発と関係したイメージングの感度改善と応用に関する新しいプロジェクトが, 仁科センターと理研の他のセンターとの共同研究を強化することになるので, 同じ方向性をもつ他の新規イニシアチブと共に支援されるべきである。

短寿命同位元素, 特に従来なかった同位元素, の生産能力を開発する取り組みが進行中である。

提言

- 仁科センターは, ビーム時間を確保し専用ビームラインを提供することでイオンビーム育種チームの研究活動を引続き支援すべきである。
- 仁科センターは, 生命科学関連の提案でもって理研 RAL をさらに発展できる機会がある。
- 加速器科学と生命科学を連携させる経験豊かなリエゾン役の人材を雇用することは, たいへん効果的であろう。NCAC は, この点を追求することを提言する。

XI. 結論

理研仁科センターは, 加速器を基盤とする原子核科学において最前線の研究を実施してきた長い伝統をもっている。この伝統は, 幾つかの主要な分野で国際的レベルの取り組みを含む堅固な科学プログラムとして今も続いている。RIBF は, 安定から離れた広い領域の原子核を生成し研究するために世界最良の施設である。追加の装置の設置が完了した現在, 稀少 RI ビームを用いて原子核構造, 核反応, 宇宙核物理学の研究の中心となる体制にある。このアップグレードをすることで, 少なくとも次の 10 年間 RIBF はこの地位を維持することができる。仁科センターは, 超重元素プログラムや加速器を基盤とする応用研究のような他の取り組みにその加速器施設を効果的に利用しており, それらの取り組みは理研の幅広いプログラムと繋がっている。仁科センターの理論の取組みは第 1 級であるが, その地位を維持するには, 中心的研究者の国内の大学への異動に対する対策を講じる必要がある。J-PARC および SPring-8 で実施されている実験, ラザフォード・アップルトン研究所での研究, および理研 BNL 研究センターを通じたブルックヘブン国立研究所との共同研究は, すべてすばらしいプログラムで, 最先端の科学と国際的認知度を理研に与えている。

将来を見渡せば, 仁科センターは, 多年にわたり最前線の地位を保持することになる戦略計画を持っている。この計画は理研の加速器複合体に的を絞りつつ, 強い国際的要素も意識している。この計画のもとで前進することで, 仁科センターは, 現在有している原子核科学における誉れ高い国際的認知度を保持しつづけるであろう。委員会は, この計画を将来への道として強く支持するものである。

謹んで提出

ロバート E. トリブル

付録

RIBF PAC からの手紙

野依理事長および延與センター長 殿

私にご両人に、仁科加速器研究センターの原子核物理課題採択委員会 (NP-PAC) の委員長および憂慮する科学者としての立場から手紙をしたためています。私は、理研仁科センターの加速器施設で研究のために利用できるビーム・タイムに関して、私自身および NP-PAC を代表しての懸念を表明させていただきます。以下これらの懸念について説明します。

我々原子核物理コミュニティの懸案事項を議論する前に、以下のような明白な事実をまず強調しておきます。仁科センターの RIBF は、現在世界的にみてユニークな施設であり、今後 5 年から 7 年の間もその立場は維持されるでしょう。RIBF は原子核科学において極めて重要かつ本質的な役割を国際的に果たしており、それが日本の原子核科学者のみならず全世界の科学者がこの施設に科学的魅力を感じずる理由となっています。これは、日本および国際研究グループ相互のアイデアの醸成と相乗効果を通じた仁科センターの活気ある科学的雰囲気にも寄与し、仁科センターにおける様々な科学的挑戦を極めて高いレベルに押し上げています。

仁科センター RIBF の開始時には、数年後に定常運転を行い、計画目標 120 日のターゲット照射ビームをユーザーに供給するという期待がありました。これは年間 8 ヶ月運転に対応しています。仁科センターの加速器および技術スタッフの多大な努力のおかげで、提供されるビームの強度とアベイラビリティが増大し、はじめの数年は明らかにこの目標に向かって進んでいました。また、仁科センターの科学者は、様々な最先端の実験施設および関連装置を頻繁な国際共同研究を通して開発することで、世界的にユニークな施設を作り上げました。不幸なことに、この傾向は、2011 年 3 月の地震と津波災害により深刻な影響を受けました。しかし、幸いなことに加速器と実験施設にはほとんど損傷が無く、仁科センター施設の運転は早期に再開されました。にもかかわらず、2011 年に供給されたビーム日数は大きく減少しました。執行部および加速器スタッフによる供給ビーム日数を増加させる努力はあったものの、2012 年および 2013 年の年間ビーム日数は 60 日を少し上回ったのみでした。私は、この理由は電気料金の大幅な増大と、その他の財政措置によるものであることを理解しています。しかしながら、これが仁科センターの研究プログラムに与えた影響は計り知れないものがあります。

優れているあるいは極めて優れていると前回の NP-PAC で評価された実験提案のなかで、未だ実験が遂行されていない膨大な積み残しがあります。最大の問題は、RIBF 運転開始以来 PAC で承認されたビーム日数のおよそ半分しか実行できていないことです。それにもかかわらずビーム・タイムに対する要求は減っていません。RIBF のユニークさは未だ世界中の多くの優れたグループを惹きつけているのです。前回の NP-PAC では、委員は厳しい選択を迫られました。前回会合の議事録を引用すると、「ビームタイム配分についての決定は、今回 2 つの理由で極めて困難であった： i) 多くの優れた提案があること、および ii) 配分すべきビームタイムがほとんどないこと。」 RIBF を用いた実験提案で要求された 194.5 日の中で、我々は、莫大な積み残し分のためにわずか 45 日分を承認する自由度しかありま

せんでした。これは要求の 25%以下ということになります。容易に想像できるように、これは傑出した科学者にフラストレーションをひき起こし、RIBF というユニークな施設で実験する意欲を消し去るものではないにしても減退させることになります。さらに、将来のキャリアが、提案された研究に決定的に拠っている多くの PhD 学生や若手科学者の研究に対して大きな衝撃を与えます。これは、ユニークな施設をもつ研究機関としての仁科センターに対して、施設の効果的利用ができないという悪いイメージを与えることになります。世界中の研究者は、建設のために多大な人的・財政的資源を費やしたユニークで優れた施設が、どうして年間半分を超える程度の運転にさえ十分な資源が与えられないのか理解に苦しんでいます。

それゆえ、私は、地震/津波災害に起因する財政的影響を緩和するために、この施設のために十分な資金を用意することをお願いしたいと思います。目標は、加速器および実験施設を利用して最低 8 ヶ月のビーム・タイムを提供することです。これにより、仁科センターが、RIBF ユーザーに対するビーム・タイムおよび支援に関して、運転開始時に提示した約束を履行することができます。また、仁科センターが、最先端研究を今後 5 年から 7 年の間に他の追随を許さず実行できる世界的なセンターであるという好意的イメージを維持できることにもなるでしょう。

お返事頂けるのをお待ちしております。

NP-PAC を代表して、
敬具

Muhsin N. Harakeh
NP-PAC 委員長
名誉教授、グローニンゲン大学、オランダ