

# 大阪大学核物理研究センター

## 国際評価委員会報告

### 評価委員

- |                |  |
|----------------|--|
| W. Benenson    | University Distinguished Professor, MSU/NSCL, Michigan                       |
| J. Cameron     | Director of IUCF, Bloomington  |
| K. Higashijima | Professor, Osaka Univ., Toyonaka   |
| K. Ikeda       | Dean of Graduate school of Science and Technology,<br>Niigata Univ., Niigata |
| H. Kamitsubo   | Director of Spring-8, Hyogo  |
| S. Kullander*  | Division leader of High Energy Physics,<br>Uppsala University, Uppsala       |
| Y. X. Luo      | Director of IMP, Lanzhou   |
| K. Sato        | Director of EURC Tokyo Univ./ President of JPS, Tokyo                        |
| J. Speth       | Director of IKP(Theory) FZ-Juelich, Juelich                                  |
| S. Yamada      | Director of IPNS, KEK, Tsukuba   |

\* 国際評価委員会、委員長

1997年12月15日

# 目次

1	要旨	3
2	評価報告	5
2.1	現行の研究計画	5
2.1.1	研究所の概要	5
2.1.2	リングサイクロトロン施設での核物理学研究	5
2.1.3	大塔コスモ観測所での研究	7
2.2	レーザー電子光(LEPS)計画	8
2.2.1	物理的意義	8
2.2.2	実験計画	8
2.2.3	研究施設の建設	9
2.2.4	LEPSユーザーグループ	10
2.3	理論	10
2.4	RCNP 加速器の改造及び研究・開発についてのコメント	11
2.5	国際協同研究	12
2.6	大学院生とポスドク研究員	12
2.7	組織	13

委員長・委員候補者名

1997年12月15日

## はじめに

本報告は大阪大学核物理研究センター(RCNP)の国際評価委員会の評価と提言である。本委員会は、核物理センター長の江尻教授によって招集された。最後に記載されている10人の委員は、核物理、素粒子物理及び天体素粒子物理の分野の人である。半数は日本から、半数は外国から来ている。

本評価の目的は、核子中間子核物理からクォークレプトン核物理の物理プログラムを評価し、提案されている計画について提言をすることである。とくにこれからの計画として興味があるのは、SPring-8利用によるレーザー電子光(LEPS)の新計画である。ここでは1.5-3.5GeVのエネルギー領域のスピンの偏極光ビームがまもなく得られようとしている。これらの光子ビームが可能になったことで、RCNPの研究計画はクォーク・レプトン核物理によりいっそう重点がおかれる。

本委員会は11月5-7日、大阪で開かれた。第一日目はRCNPのサイクロトロン実験室とSPring-8を視察した。2日目は現在の研究プログラムと将来の研究計画を含め、全体の研究計画が提示された。最終日は、センター長とも会い、またグループリーダーや大学院生の代表らとも会った。評価委員会内での議論も行なった。

本報告は実行提言のまとめ、現在の研究プログラム、LEPS計画、理論、加速器将来計画と研究開発、国際協力、大学院とポスドク、組織に対するコメントからなる。RCNPからの資料は付録として収録されている。

本報告はRCNPの多くの人々による広範な資料に基づいている。評価委員会はセンター長はじめ職員のすべての努力と厚遇、及び、すばらしい発表に感謝します。

スヴェン・クランダー  
評価委員長

# 1 要旨

11月5日の大阪大学核物理研究センター(RCNP)リングサイクロトロン施設及び西播磨・大型放射光施設(SPring-8)の視察、11月6日のRCNPの研究とレーザー電子光計画の公開発表会に引き続き、11月7日にRCNP評価委員会は同センターの現在及びこれからの研究の方向について議論をおこなった。

評価委員会は、リングサイクロトロン施設での核物理研究が、優れた実験施設を用いた非常に質の高い研究であると評価する。サイクロトロン施設での研究グループは、核物理学の諸分野において第一級の貢献をしている。この貢献は最先端の機器を用いることにより初めて可能になった精密測定と高分解能測定によりもたらされた。リングサイクロトロン施設が、研究成果の高い生産性を、次回の評価委員会が開かれるまでの間維持し続けるであろうことは想像に難くない。しかしながら、その時までには同施設の新たな研究方向及び利用方法を検討し、よく議論する必要がある。

加速器の開発・研究が進行中であり、評価委員会には性能が一段上の加速器計画の概略案が示された。現有のものよりも高性能の加速器を将来持つことの重要性に鑑み、物理的意義の詳細な検討を基に、より高性能の加速器の開発・研究を将来も行なうべきであると提言する。このことは、加速器設計の主要点を正当化し、計画を改良し完全なものにするために必要である。

大塔コスモ観測所での新たな研究の展開により、RCNPの研究計画は、今やレプトン核物理、太陽ニュートリノ、及び暗黒物質の分野での優れた研究を含むようになった。大容量検出器系エレガント号(ELEGANT)により、暗黒物質の研究が可能になるであろう。見えない或は非常に暗い暗黒物質の存否は宇宙の歴史と深く関わるため、宇宙物理学において非常に重要な問題となっている。これは大塔コスモ観測所で行なわれている第一級の基礎研究の一例であり、RCNPがこの重要な分野においても世界の他の研究機関と十分競争し得る研究を進めることができることを示している。

RCNP中期将来計画の柱として、SPring-8利用によるレーザー電子光ビーム発生装置と光核反応実験のための検出器系の建設計画が示された。この施設はLEPS(Laser Electron Photons at SPring-8)と呼ばれる。ここで得られる100%偏極したGeV光はハドロン構造とQCDを実験的に研究する上でユニークかつ強力な手段であり、すでに始まっているこの分野での理論的研究を刺激するであろう。原子核物理学と素粒子物理学の境界領域での最も挑戦的な課題は、非摂動論的QCDの解明である。未解決の重要問題としては、バリオンとメソンのクォーク・グルーオン構造、QCDで予言されたグルーボールの存否、そして最後に重要な課題として、カラー電荷を帯びた粒子が自由空間を伝播することを妨げている“閉じ込め”の機構の問題がある。中間子交換からグルーオン交換によると思われるPomeron交換への遷移は2~3 GeVのエネルギー領域で起こると予想され、それゆえSPring-8で十分研究できるであろう。今回提案されたLEPS計画は、これらの事柄を詳細に研究する機会を与える。評価委員会は最優先の提言として、クォーク・レプトン核物理におけるRCNPの研究の



新たな展開である本計画に資金が優先的に投入されるべきであると提言する。

最初に建設すべき施設は、ビームラインとレーザー系及びビーム標識系である。それら全てにおいて大きな研究の進展が見られ、1998年半ばか後半には、最初の標識化光ビームが得られるものと期待できる。光ビームの強度が限られているので、国際競争力のある施設を建設するためには、検出器系が大きな立体角をカバーする必要がある。明らかにこの検出器系の設計がLEPS計画の将来のインパクトの大きさを決める。設計と建設のために必要な費用が確保されることが重要である。最適な設計をしたうえで、建設費用による制限を考慮に入れることを提言する。この施設をもって今後10年間のRCNPの主たる推進力とするのであれば、最適な検出器系以外のものを設計し計画を進めることは近視眼的である。評価委員会には最良の偏極標的を助言するのに十分な専門知識がない。どのような偏極標的を用いるかについては協同利用者間でまず決定し、しかる後その分野の専門家の助言を受けるよう提言する。

LEPS研究計画は、RCNPのリングサイクロトロンを用いた現在の伝統的な研究計画に重要な新側面を加えるであろう。マルチGeV光ビーム実験施設は、核子・中間子系の核物理からクォーク・グルーオン系核物理への展開という観点からも非常に重要である。

評価委員会はRCNPの理論グループに感銘を受けた。1994年に土岐教授がグループのリーダーになって以来、大阪大学理学部から多くの大学院生を引き寄せ、また全世界から著名な科学者を招聘し、若い科学者による大変活動的なグループを形成した。このグループはハドロン物理と原子核物理の分野における現在興味を持たれている様々な問題に取り組んでいる。このグループの最も挑戦的な取り組みは、クォーク閉じ込めとカイラル対称性の自発的破れの解明である。理論グループはまたH. Lee教授のような指導的役割を果たしている科学者を招聘し、光核物理学での競争力をつけつつある。同教授は光核物理学の第一人者である。これらの活動はSPRING-8での実験の計画推進のために極めて重要である。多くの大学院生と招聘研究者を引き寄せている理論グループの全プログラムは、たった二人の常勤スタッフの肩にかかっている。それゆえ我々は理論グループに三人目の常勤スタッフを置くことを強く提言する。

RCNPの研究成果は、優れた多くの発表論文、現在40名を数える急速に増加する大学院生、そしてRCNPが主催した多くの国際ワークショップ及び国際会議(1997年度は6回)からみても明らかである。

RCNPは国際研究交換と国際共同研究の協定を結んだ大きなネットワークを持っている。このネットワークはMESON(Medium Energy Science Open Network)として世界中の研究機関により組織されている。RCNPが国際的に急速に認知されるようになったのは現センター長によるこのネットワークの構築と発展に負うところが多い。

現センター長の江尻教授については、評価委員会は、その卓越した研究指導力を高く評価することで意見が一致している。特に江尻センター長は、責任と科学的リーダーシップを持つ4～5人の若手研究者を招聘することに成功した。評価委員会はこの若いグループリーダーに大変好印象を持った。すでに確立している他のグループリーダーと共に、彼らは将来

RCNP が素晴らしい研究成果を挙げることに對する一番の保証である。

評価委員会は RCNP は大変良く組織化されていると認めるが、一つだけ提言を行ないたい。研究協議委員会はセンター長以外の人を議長とすべきである。この点は全国共同研究所である RCNP の性格をより明確にするために重要である。この RCNP の役目は国内外のユーザーの数が増えるにつれてはっきりしてきている。

我々はまた評価委員会自体についての提案も行ないたい。続いておこなわれる評価委員会では、何人かのメンバーは継続して委員を務めるべきである。また委員は正式に RCNP より上部の組織によって任命されるべきである。我々は大阪大学総長が評価委員会委員を正式に任命するべきであると提言する。

## 2 評価報告

### 2.1 現行の研究計画

#### 2.1.1 研究所の概要

大阪大学核物理研究センター (RCNP) はこの 10 年で大きく発展した。現在の研究領域はリングサイクロトロン実験施設を用いた主に核力の中・長距離力として現れる原子核中の中間子・核子自由度の研究と大塔コスモ観測所での弱い相互作用による様々な過程の研究である。RCNP は最近大型放射光施設 SPring-8 を利用し発生したマルチ GeV 偏極光子を用い、核力の短距離力の側面を研究する計画を始めた。この領域はクォークによって記述されると考えるのが妥当であろう。

RCNP の主研究施設であるリングサイクロトロンは 90 年代初頭に建設が終了し、現在精力的に研究が進められ、急激に増加する大学院生に利用されている。サイクロトロンにより加速された非常に精度の良いビームは一連の最先端の検出器系を使うことにより最大限活用されている。特筆すべきは同時計測が可能な二つの大きな磁気スペクトロメーターである。

#### 2.1.2 リングサイクロトロン施設での核物理学研究

RCNP での核物理研究の中心的研究は 6 個の電磁石で構成された最大陽子エネルギー 400 MeV 強のセクター収束サイクロトロンを用いて遂行される。ビームエネルギーは可変で、様々な軽イオンを最大  $K = 400q^2/A$  MeV まで加速することができる。フラット・トップの高周波は単一ターンのビーム引出しを可能にし、その結果非常に精度の良いビームが得られる。偏極陽子及び偏極重陽子ビームを加速することも可能である。最近の改良及び改造により非常に安定した高分解能運転が可能になった。そのビームの性能を引き出す重要なシステムとして高分解能スペクトロメーター Grand Raiden、大立体角スペクトロメーター LAS、中性子飛行時間測定装置系、不安定核ビームラインがある。これらのシステムと安定な加速

器運転の組み合わせが、RCNPを核構造及び核反応の分野の研究で、世界的にユニークな施設にした。最大陽子エネルギー領域では中間子及びクォーク核物理の研究も行なわれている。

リングサイクロトロン施設で研究されている研究課題の多くは、原子核及び核内の核子の基本的な応答、素励起を研究対象としている。研究例として偏極陽子の弾性散乱及び $(p,2p)$ 反応による核内での核子・核子有効相互作用の研究がある。 $(p,n)$ 及び $({}^3\text{He},t)$ 反応は、スピン・アイソスピン励起を調べるために系統的に使われた。これらの実験は核構造の研究の上から重要であるが、同時にもっと本質的な問題とも関連している。例えば ${}^{71}\text{Ga}({}^3\text{He},t)$ 反応は ${}^{71}\text{Ga}$ を用いた太陽ニュートリノ検出器の検出効率を求めるために使われた。近年の非常に巧みな実験として、 $({}^7\text{Li},{}^7\text{Be})$ 反応で ${}^7\text{Be}$ が基底状態にあるか第一励起状態にあるかを反応と同時に測定した実験がある。この実験によりスピントリプルを伴う励起と伴わない励起が、同時に同一の実験条件で測定された。

最近の技術的な進歩の結果、Grand Raidenを0度方向で使うことが可能になった。これは巨大共鳴の研究において非常に重要な意味を持つ。RCNPで利用可能な高エネルギー $\alpha$ 粒子の小角度散乱を測定することにより、E0励起或は単極巨大共鳴状態を観測することができる。この状態を研究することにより、核の状態方程式の最も基礎的な量である核物質の圧縮率を測定することが出来る。核の状態方程式は超新星爆発理論の基盤となるものである。陽子の0度方向での非弾性散乱は、核のM1またはスピン反転励起を研究する上で重要である。特に核物質あるいは重い核中での同励起の研究は、ある種の超新星爆発におけるニュートリノを伴う核合成機構を解明する上で重要である。

リングサイクロトロン施設では、中間子核物理とクォーク核物理に関連する研究も行なわれている。例えば0度方向に散乱された2個の陽子をLASで同時測定することにより、 $\pi$ 中間子生成閾値付近で強く束縛される $\pi$ 中間子状態の存在に対する答えが得られる。未だ実験の初期的段階ではあるが、リングサイクロトロンの最高エネルギーの陽子ビームを使って、 $\Delta S = 1$ の弱い相互作用による $\Lambda$ 粒子生成実験が行なわれようとしている。生成断面積が非常に小さいため、この実験は極めて難しい。しかしながら、この実験により、核子間のフレーバーを変化させる弱い相互作用についての知見が、過去の実験とは比較にならない明確さで得られる可能性がある。この知見は偏極ハイパー核の中間子を伴わない崩壊の研究によって得られる知見と相補的である。

リングサイクロトロンを用いて ${}^{12}\text{B}$ や ${}^{16}\text{N}$ のような不安定核を得ることが出来る。不安定核は生成された時点で偏極していて、その偏極は不安定核イオンを超流動液体ヘリウムに注入することにより維持することができる。偏極した不安定核イオンは液体ヘリウム中でいわゆるスノーボールという状態を形成する際の中心核となる。スノーボールはイオンを捕獲し、その偏極を保持するユニークな方法である。 ${}^{16}\text{N}$ の二重極及び四重極モーメントは現在まで測定されていず、その測定が待たれる軽い核の一つである。

リングサイクロトロン施設での研究は、円熟期にある核物理学の諸分野において第一級の貢献をしている。この貢献は最先端の機器を用いることにより初めて可能になった精密測定と高分解能測定によりもたらされた。このことと関連して、標的上で最高のエネルギー分解



能を得るために分散整合の問題は是非解決されなければならない。リングサイクロトン施設が、この高い生産性を、次回の評価委員会が開かれるまでの間維持するであろうことは、想像に難くない。しかしながら、その時までには同施設の新たな研究方向及び利用方法を検討し、よく議論する必要がある。

### 2.1.3 大塔コスモ観測所での研究

RCNPのスタッフが大塔コスモ観測所で行っている研究は、RCNP全体の研究成果の中の重要な部分の一つである。ここでの課題は、二重ベータ崩壊を主としたレプトン核物理である。大塔コスモ観測所は、大阪から100 km南に位置するトンネル内に設けられており、地表からの深さは極めて深くはないものの、自然界(特にラドン)からのバックグラウンドが低いことから、非常に確率の低い崩壊事象を測定するために理想的な場所となっている。他の観測所では高い自然放射能が二重ベータ崩壊の研究の妨げになっている。二重ベータ崩壊の研究によって弱い相互作用及び対称性の問題に関して基本的な研究を行なうことができ、特にニュートリノが関与する現象の研究が可能である。

大塔コスモ観測所に拘っているRCNPのスタッフは、この種の研究ですでに素晴らしい成果を挙げている。ELEGANT III、IVおよびVと呼ばれる一連の検出器は、神岡地下観測所に設置されていたもので、これらの内最新のELEGANT Vは既に大塔コスモ観測所に移設され、新たに開発されたELEGANT VIも大塔コスモ観測所に設置された。ここでの研究の一つとして、信頼のおける最近の核行列要素の理論計算に基づいて、ニュートリノ質量の上限を1eV以下に決定することが出来ると期待される。ELEGANT Vは、多層ドリフトチェンバー、プラスチックシンチレーター及びNaIシンチレーターからなる複合検出器系で、 $^{100}\text{Mo}$ と $^{116}\text{Cd}$ の二重ベータ崩壊の研究に用いられており、既にそれらの寿命が測定されている。ELEGANT VIは $^{48}\text{Ca}$ の崩壊を研究するために新たに開発された検出器系で、 $\text{CaF}_2$ とCsI検出器で構成されている。この検出器系を大塔コスモ観測所の低バックグラウンド環境で用いることによって、ニュートリノの質量の上限を1eV以下の値に、右巻カレントの上限を約 $10^{-8}$ に決定することが可能になる。

大塔コスモ観測所では、太陽ニュートリノ生成率を研究する実験がある。この実験での超低エネルギー崩壊の測定には、大塔コスモ観測所の低バックグラウンド環境が極めて重要である。大容量のELEGANT検出器系により暗黒物質の研究が可能になるであろう。見えないうち、或は非常に暗い暗黒物質の存否は、宇宙の歴史と深く関わるため、宇宙物理学において非常に重要な問題である。これは大塔コスモ観測所で行なわれている第一級の基礎研究の一例であり、RCNPがこの重要な分野においても世界の他の研究機関と十分競争できることを示している。



## 2.2 レーザー電子光 (LEPS) 計画

### 2.2.1 物理的意義

原子核物理学と素粒子物理学の境界領域での最も挑戦的な課題は非摂動的 QCD の解明である。未解決の重要問題としては、バリオンとメソンのクォーク・グルーオン構造、QCD で予言されたグルーボールの探索、そして忘れてはいけない重要な課題として、カラー電荷を帯びた粒子が自由空間を伝播することを妨げている「閉じ込め」の機構の問題がある。今回提案された LEPS 計画は、核子の励起状態とその崩壊を詳細に探求するまたとない機会を与えるであろう。特に興味深いのは、様々なクォークモデルでその存在が予言されているが未だ観測されていないいわゆる未発見の状態の探索と、グルーオン成分を多く含むエキゾチック状態の探索である。

SPring-8 でのもう一つの重要な研究課題は、ベクトル中間子の光生成の研究であろう。高エネルギー領域では  $\rho$  及び  $\omega$  中間子の回折的光生成反応は Pomeron 交換過程でよく記述できる。一方低エネルギー領域では中間子交換過程が優勢である。中間子交換からグルーオン交換によると思われる Pomeron 交換への遷移は 2~3 GeV のエネルギー領域で起こると予想され、それゆえ SPring-8 で非常に良く研究できるであろう。さらに  $\phi$  中間子の光生成反応は低エネルギーに於いてすら Pomeron 交換過程が優勢である。詳細な  $\gamma N$  反応の測定は低エネルギーに於ける Pomeron の性質を解明する上で非常に有用な方法である。ここでは偏極光子を使うことがクォーク交換過程とグルーオン交換過程を区別するうえで不可欠である。これらの将来の研究計画は HERA に於ける高エネルギー深非弾性散乱の最近の実験結果との関連においても興味深い。HERA では Pomeron のグルーオン構造を電子・核子散乱を用いて引き出している。

### 2.2.2 実験計画

LEPS における実験計画は、現在、研究・開発を行なっている段階である。実験計画はエネルギー標識系による高エネルギー分解能と高い縦及び円スピン偏極度を持つ光子を利用することになる。以下のような実験計画が提案されている。

1. ベクター中間子生成反応の運動量移行依存性。LEPS で利用可能なエネルギー領域は中間子交換過程が優勢な領域から Pomeron(相関する複数のグルーオン) 交換過程が優勢であると予想される領域までをカバーする。広い位相空間を覆うことがグルーオン交換過程を識別するために必要となるであろう。
2. SPring-8 施設は、偏極陽子ターゲットを用いたスピン相関係数の測定によって、核子中の  $s\bar{s}$  成分を研究するのに理想的である。理論的予言は既に存在し、わずか 1% の  $s\bar{s}$  成分でも大きな効果があることが示されている。

3. ハドロンビームでは励起されない、または、分解出来ないハイパー核の励起状態の研究。YN相互作用を ${}^2\text{H}(\gamma, \text{K})\text{YN}$ 反応の終状態相互作用として研究することも可能である。ここでもまた高い分解能と偏極度が必要不可欠である。
4. 偏極解析能とスピン相関を測定することにより重陽子光分解において核子内パートンによる反応のスケールリングがどのエネルギー領域で始まるかを明らかにすることが出来るであろう。
5. スピン相関を測定することにより、偏極核子の光子全吸収断面積と核子の異常磁気能率を関係づけるGDH和則を検証する。
6. バリオン励起状態の研究。この状態の分離は完全な部分波展開解析が不可欠であるため、広範囲にわたるデータセットを必要とする。標識された偏極光子ビームにより、正確な反応断面積と偏極分解能の測定が可能である。それに加え、スピン相関の測定も可能である。

SPring-8の施設からは、毎秒 $10^7$ 個のエネルギー標識された最高3.4GeVの100%直線偏光・円偏光した光子が得られる。光子ビームの一様なエネルギー分布と高い標識化効率は結果として非常に低いバックグラウンド環境をもたらす。このことは $\phi$ 中間子生成反応のような非常に反応率の低い反応を研究する上で重要である。測定の性能指数はビームの偏極度の二乗に比例するので逆コンプトン散乱による光子は制動放射による光子よりも明らかに有利である。さらに、逆コンプトン散乱による光子の生成はスピン縦偏極光を得る唯一の方法でもある。予想されるエネルギー分解能15 MeVは議論された全ての応用例において十分な精度である。

このLEPS研究計画は、リングサイクロトロンを用いた現在のRCNPのより伝統的な研究計画に重要な新側面を加えるであろう。その結果、原子核の自由度が核子・中間子系からクォーク・グルーオン系へ移る重要な遷移領域を解明する研究が可能になるであろう。前述の実験計画はSPring-8・LEPS施設で期待できる低バックグラウンドと高偏極度という利点を十分活用している。 $\phi$ 中間子生成反応実験により、陽子中のストレンジネス成分を始めとする重要な情報が得られると予想される。それゆえこの反応過程測定できるような実験設備を設計することは適当である。

### 2.2.3 研究施設の建設

最初に建設すべき施設はビームラインとレーザー系及びビーム標識系である。それら全てにおいて大きな研究の進展が見られ、1998年半ばか後半には最初の標識化光ビームが得られるものと期待できる。ビームライン用の真空槽は設計が終り、現在建設中である。レーザー系の設計も進んでおり、名古屋大学でテスト中である。ビーム標識化装置の一部が最近設置予定場所に置かれ、測定の結果、バックグラウンドが非常に少ないことがわかった。レーザー系を格納するハッチも設計が終り、程なく建設される予定である。

実験では反応の終状態に現れる複数個の粒子を同時測定し、かつ $\pi$ 中間子とK中間子の識別ができることが必要となる。バックグラウンドは小さいと予想されるが、精巧な検出器系やトリガー系を開発するためには、様々な要素を同時に考慮する必要がある。光ビームの強度が限られているので、競争力のある施設を建設するためには、検出器系が大きな立体角をカバーする必要がある。明らかにこの検出器系の設計がLEPS計画の将来のインパクトの大きさを決める。デザインと建設のために必要な費用が確保されることが重要である。最適な設計おこなってから、しかる後、建設費用による制限を考慮に入れることを提言する。この施設をもって今後10年間のRCNPの主たる推進力とするのであれば、最適な検出器系以外のものを設計し計画を進めることは近視眼的である。

評価委員会において3段階の建設計画が示された。この方法は機器のプロトタイプを開発する上で利点がある。しかしながら、計画達成上不可欠な研究者の努力の方向を最終目標から逸してしまう危険があるため慎重に考慮する必要がある。

計画の第2段階では、隣接するビームラインの影響で計画に利用できる空間がかなり限られている。必然的に双極電磁石を用い前方の反応粒子を検出する設計となった。粒子識別能、エネルギー分解能、アクセプタンスに対し十分な検討がなされている。

提案されている実験計画の多くが偏極標的を必要とする。従来の凍結スピン方式による偏極標的を開発する計画が示され、また他の方法による偏極標的と比較された。評価委員会には最良の偏極標的を助言するだけの十分な専門知識がない。協同利用者の間でまずこの問題を解決し、その分野の専門家の助言を受けるよう提言する。

#### 2.2.4 LEPS ユーザーグループ

LEPS計画の公式なユーザー組織が結成され、現在約45名のメンバーがいる。これはかなり印象的な規模であるが、評価委員会では専任研究者に換算した場合、どの様な相当数になるか明らかでなかった。しかしながら、国内外の研究者によって示された関心は発展しつつある同物理計画にとって好ましい前兆である。

### 2.3 理論

評価委員会はRCNPの理論グループに感銘を受けた。1994年に土岐教授がグループのリーダーになって以来、大阪大学理学部から多くの大学院生を引き寄せ、また全世界から著名な科学者を招聘し、若い科学者による大変活動的なグループを形成した。このグループは、ハドロン物理と原子核物理の分野において現在興味を持たれている様々な問題に取り組んでいる。このグループの最も挑戦的な取り組みは、双対Ginzburg-Landau理論によるクォーク閉じ込めとカイラル対称性の自発的破れの解明である。

南部博士とMandelstamに源を発し't Hooftによりさらに探求されたこのアプローチでは、QCD磁気単極子とその凝縮が重要な役割を果たす。単極子は真空の変化を引き起こし、真



空はカラー電荷のマイスナー効果によりカラー電荷の紐とその結果としてクォーク間の線形ポテンシャルを生成する。菅沼博士はこの枠組を使い非常に将来有望な結果を示した。この結果は格子 QCD 計算と比較された。この研究は疑いようもなく非摂動 QCD の分野における最前線の研究である。

土岐教授はその発表の中で LEPS 計画と関連する物理の問題について論じた。すなわち回折的  $\phi$  中間子生成と低エネルギー Pomeron の関連についてである。彼はまた核子のモデルを提示し、その単純さにも関わらず、様々な実験事実が説明出来ることを示した。理論グループはまた H. Lee 教授のような著名な科学者を招聘し、光核物理学での競争力をつけつつある。同教授は光核物理学の第一人者である。これらの活動は SPring-8 での実験の計画と将来きたるべきデータの解析のために極めて重要である。

RCNP がクォーク・ハドロン物理と呼ぶ非摂動論的 QCD の分野の研究に加えて、土岐教授を始めとする理論グループは相対論的平均場理論の改良版を展開し、不安定核の構造と質量の研究に応用した。データと比較することにより理論で使われている自由パラメータを決定する。この方法を用いて同グループは中性子星中の核物質の状態方程式を導きだし、大変重要かつ驚くべき結果を得た。この方法は有限温度の超新星物質にも適用されている。この重要な展開は、宇宙物理学の幾つかのグループの興味を喚起し、恒星の核の重力崩壊と超新星爆発の数値シミュレーションに使われる。

RCNP の新たな方向において理論グループは有能で活動的であるにも関わらず、サイクロトロン施設で現在進行中の実験計画とは関係はそれほど無いように見える。強力な外国人科学者招聘制度が日本にはあり、そのお蔭でこの点については補われているが、それでも RCNP の理論家とサイクロトロン施設を使う実験家が議論を持つことは双方にとって重要であろう。このことと関連して、我々は次の点を指摘したい。理論グループは感銘を受けるほどの多数の大学院生と招聘研究者を引き寄せてはいるが、その全プログラムはたった二人の常勤のスタッフの肩にかかっている。この数は長期にわたり今と同じ数の大学院生と招聘科学者を維持していくには少なすぎる。それゆえ我々は 3 人目の常勤スタッフを理論グループに加えることを強く提言する。そうすれば大学院生の指導と招聘制度の最大限の活用の助けとなるであろう。

以上をまとめる：RCNP の理論グループは非常に有能で高い国際的地位を得ている。このグループは RCNP のクォーク・グルーオン核物理への新展開にとって非常に重要である。

## 2.4 RCNP 加速器の改造及び研究・開発についてのコメント

これからの数年間クォーク・レプトン核物理の実験は LEPS で行なわれるが、RCNP におけるこの核物理の最前線の活動を更に促進するために、RCNP が現有の加速器の次期計画を立て、さらに研究・開発を行なうことが望ましい。

評価委員会で発表された中期計画と新加速器の研究・開発計画は適切であると思われる。後者の計画は準備段階にあると理解する。そこで提案されたクーラー・シンクロトロンによ



るマルチ GeV エネルギー領域の電子・軽イオン衝突型加速器は、世界中の現有及び計画中の加速器と相補的である。高精度・高感度のスペクトロメーターと検出器と共に、この衝突型加速器は実験精度の最先端を押し進め、RCNPにおけるクォーク・レプトン核物理を更に推進するであろう。提案されたクーラー・シンクロトロン<sup>8</sup>の字型の構成は、二つのリングでスピンの歳差の方向が反対であるため、イオンビームの偏極がなくなり、高い偏極度をもつビームが得られるであろう。シンクロトロンの為のリップルの少ない電源や広帯域の無同調高周波加速空洞を始めとする高性能の加速器要素の研究・開発が十分進んでいる。

評価委員会は、物理的研究の意義の詳細な検討に基づく加速器の次期計画及び開発・研究を、今後も引続き行なうべきであると提言する。それにより加速器設計の主要な性能の必要性を正当化し、計画を完全なものにすることが出来るであろう。

## 2.5 国際協同研究

RCNP は国際研究交換訪問と国際協同研究の協定を結んだ大きなネットワークを持っている。このネットワークは MESON (Medium Energy Science Open Network) として組織されている。この研究所が国際的に急速に認知されるようになったのは現センター長によるこのネットワークの構築と発展に負うところが多い。最近の、招聘外国人教授に対する資金の増額は、RCNP の優れた研究施設を使いにくる国際的研究者をより多く呼び寄せる助けにもなるであろう。

## 2.6 大学院生とポスドク研究員

RCNP は研究所であるとともに、大阪大学の一部として高等教育の場であるという二つの役割を果たしている。RCNP は理学研究科と協力して理学修士号及び理学博士号につながる大学院教育プログラムを提供している。RCNP には原子核素粒子実験、原子核素粒子理論、加速器計測器物理学の3つの大学院教育コースがある。RCNP の全教職員は授業を受け持つか、または大学院生を直接指導することにより教育に携わっている。RCNP はいくつかのポスドクの定員を提供し、また数人の若い日本学術振興会特別研究員の受け入れを行なっている。

これらの大学院教育及びポスドク・プログラムの目的は、原子核及び加速器科学の分野の物理学者数を増やすことにある。大変魅力的で活発な研究プログラムは、最近の RCNP における大学院生数の急速な増加をもたらした。しかし、この大学院生数の増加に合わせ、理論グループの常勤の教官数を2から3に増やすべきである。正規の教官に加え、RCNP は文部省の援助のもと活動的な国外の研究者を招聘している。大学院生とポスドク研究員は彼らの豊富な経験から学ぶため、より頻繁にこれらの長期滞在者と接触をもつことを勧める。

RCNP と理学研究科の関係を教育プログラムだけではなく研究プロジェクトにおいてもさらに密にすることが望ましい。前回の評価委員会は RCNP がビームタイムの一部を理学研

究科の教育と研究のために優先的に割くことを強く提言した。現評価委員会もこのことを再度提言する。

## 2.7 組織

RCNPは大変良く組織されている。組織構成においてセンター長は最も重要な位置をしめている。研究計画のために、センター長を助ける核物理研究センター研究計画検討専門委員会(研計委)があり、研計委は3つのPACの助言を受ける。計画の遂行にあたっては、センター長はRCNP教官による協議会とグループ代表者会議に諮る。センター長の下に、核理学、加速情報、放射線科学、研究企画、技術部及び事務部という部門がある。これらの部門の他にレーザー電子光ユーザー会や産学協同問題、発明、放射線安全、安全、施設、図書、情報ネットワークの各委員会があり、センター長を補佐する。研究方針の決定のために、国内の代表者により構成される研究協議委員会と国際外部評価委員会がある。

評価委員会はRCNPは大変良く組織化されていると認めるが一つ意見したい。研究協議委員会はセンター長以外の人を議長とすべきである。この点は全国共同研究所であるRCNPの性格をより明確にするために重要である。このRCNPの役目は国内外のユーザーの数が増えるにつれてはっきりしてきている。研究協議委員会の議長にセンター長以外の人がつくことによりセンター長選挙も簡略化されるであろう。

現センター長の江尻教授については、評価委員会はその卓越した研究指導力を高く評価するという意見で一致している。江尻センター長はその研究分野において国際的権威であり、そのことが多くの著名な科学者をRCNPに引き寄せる原動力となっている。特に江尻センター長は責任と科学的リーダーシップを持つ4~5人の若い科学者を連れてくることに成功した。評価委員会はこの若いグループリーダーに大変好印象を持った。すでに確立している他のグループリーダーと共に、彼らは将来RCNPが素晴らしい研究成果を挙げることに對する一番の保証である。

人事交流の様子を示すものとして、過去2年間に6人の新しい研究者がRCNPに加わり、5人の研究者が去っていったことをあげることが出来る。それらは1つの教授と2つの助教授の定員の入れ替わりと、のべ4つのポストクの定員でおこなわれた。付録にあるように何人かの協力研究者が加わることにより多彩な研究が行われている。

ここで評価委員会自体についてコメントしたい。我々はこの委員会は正式にはRCNPより上部の組織によって任命されるべきであると提言する。RCNPは大阪大学に属する研究機関なので、大阪大学総長が評価委員を正式に任命することが適当であると考え。これは研究機関全体としてだけでなく、センター長も評価の対象となっているため重要である。我々はまた評価委員会にある種の連続性が必要であるという結論に達した。つまり定常の状態では委員は二期務めることとし、新しい評価委員会毎に、委員の半分が交替することが適当である。このことは現委員の内何人かがもう一期委員を務め、この委員交替方法を開始することを意味する。

## 国際評価委員

(アルファベット順)

- Prof. W. Benenson  
University Distinguished Professor  
Michigan State University  
National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan  
RCNP B-PAC  
Medium & Low energy nuclear physics, Experiment
- Prof. J. Cameron  
Director of IUCF, Bloomington  
Medium energy nuclear physics, Experiment
- Prof. K. Higashijima  
Professor, Osaka Univ., Toyonaka  
Particle physics, Theory
- Prof. K. Ikeda  
Dean of Graduate school of Science and technology,  
Niigata University, Niigata  
Nuclear physics, Theory
- Prof. H. Kamitsubo  
Director of Spring-8, Hyogo  
Nuclear physics & Accelerator physics, Experiment
- Prof. S. Kullander\*  
Division leader, High Energy Physics Division,  
Uppsala University  
High & medium energy nuclear/particle physics, Experiment
- Prof. Y. X. Luo  
Director of IMP, Lanzhou  
Medium & Low energy nuclear physics, Experiment
- Prof. K. Sato  
Director of EURC Tokyo Univ., Tokyo  
President of JPS  
Astro-particle physics, Theory
- Prof. J. Speth  
Director of IKP(Theory) FZ-Juelich, Juelich  
Professor of Physics University of Bonn  
High & medium energy nuclear/particle physics, Theory
- Prof. S. Yamada  
Director of IPNS, KEK, Tsukuba  
High energy nuclear/particle physics, Experiment

\*国際評価委員会、委員長