

物理学研究連絡委員会報告

—大型ハドロン計画の推進について—

昭和63年1月25日

日本学術会議

物理学研究連絡委員会

この報告は、第13期日本学術会議物理学研究連絡委員会の審議結果を
取りまとめ発表するものである。

委員長
幹事
幹事員
委員

久保 亮五 (慶応義塾大学)	荒船 次郎 (東京大学)
蟻川 達男 (東京農工大学)	池上 栄胤 (大阪大学)
小沼 通二 (慶応義塾大学)	今井 功 (工学院大学)
荒木 不二洋 (京都大学)	大沢 文夫 (第4部会員)
有馬 朗人 (第4部会員)	尾崎 敏 (高工ネ研)
市川 芳彦 (名古屋大学)	梶川 良一 (名古屋大学)
大槻 義彦 (早稲田大学)	勝木 渥 (信州大学)
太田 周 (宇都宮大学)	金森 順次郎 (大阪大学)
小川 修三 (名古屋大学)	上村 洸 (東京大学)
糟谷 忠雄 (東北大学)	菊池 健 (高工ネ研)
加藤 範夫 (名城大学)	合田 正毅 (新潟大学)
上坪 宏道 (理化学研)	佐藤 清雄 (富山大学)
川路 伸治 (学習院大学)	信實 豊一郎 (大阪市立大学)
小林 作 (京都大学)	霜田 光一 (慶応義塾大学)
斎藤 信彦 (早稲田大学)	鈴木 増雄 (東京大学)
三本 木孝 (北海道大学)	高木 修二 (大阪大学)
清水 忠雄 (東京大学)	巽 友正 (広島工大)
菅 浩一 (明星大学)	玉垣 良三 (京都大学)
杉本 光男 (埼玉大学)	中井 祥夫 (京都大学)
宅間 宏 (電気通信大学)	中嶋 貞雄 (第4部会員)
伊達 宗行 (大阪大学)	長岡 洋介 (名古屋大学)
鳥塚 賀治 (東北大学)	鳴海 元 (呉女子短期大学)
中村 輝太郎 (東海大学)	西村 奎吾 (宮城教育大学)
中山 正敏 (九州大学)	西島 和彦 (京都大学)
長島 順清 (大阪大学)	橋本 英典 (法政大学)
西川 哲治 (第4部会員)	藤井 忠男 (神戸大学)
西村 純 (宇宙科学研)	藤村 淳 (横浜国立大学)
長谷川 博一 (京都大学)	前川 純一 (神戸大学)
早川 幸男 (第4部会員)	牧 二郎 (第4部会員)
藤本 陽一 (早稲田大学)	三宅 弘三 (京都大学)
松澤 通生 (電気通信大学)	山口 嘉夫 (東海大学)
丸森 寿夫 (筑波大学)	湯田 利典 (東京大学)
三輪 浩 (信州大学)	渡部 三雄 (広島大学)
森村 正直 (光計測技術開発(株))	
山崎 敏光 (東京大学)	
禅 素英 (横浜国立大学)	
守谷 亨 (東京大学)	

大型ハドロン計画の推進について

物理学研究連絡委員会（以下「本委員会」という。）では、かねてから原子核物理を中心とする研究の将来計画の検討を進めてまいりました。1986年11月13日には本委員会として大型ハドロン計画ワーキンググループを設置し、物理学全体の立場からこの計画を検討し、その報告が去る1987年6月12日の本委員会に提出されました。この報告を受け、本委員会はこの計画の意義を高く評価し、できるだけ速やかにその実現を図ることを決議いたしました。

つきましては、この計画が遅滞なく達成されますよう、関係各方面の御協力ををお願いする次第であります。

本計画は、原子核分野にととまらず、物性物理学、原子物理学、化学など、ひろく科学の諸分野の将来の発展に深い関連をもつため、第4部にも検討を依頼し、了承されております。

計画の概要並びに検討の経緯については、別紙のとおりであります。詳細に関しては添付されました「大型ハドロン計画ワーキンググループ報告」にて御参照ください。

大型ハドロン計画の概要並びに検討の経緯

1. 本計画は1983年以来、ハドロン加速器を中心施設とする核物理並びに関連諸分野の次期計画として、関係研究者が中心となって検討してきたもので、1986年以降には、東京大学原子核研究所に設けられた大ハドロン計画推進作業部会においてその具体案の作成が進められている。

本計画の加速器コンプレックスは、

- (1) 12 GeV陽子シンクロトロン
- (2) 大強度2 GeVシンクロトロン (第一リングA)
- (3) ストレッチャー・シンクロトロン (第一リングB)
- (4) 陽子リニアック (1 GeV)
- (5) 重イオンリニアック

の5個の加速器から成り筑波地区につくられる。このうち(1)は高エネルギー物理学研究所に現存するものを増強して用いるが、(2)から(5)は新たに建設する。

本計画は、これらの加速器コンプレックスから生成される多彩な粒子ビームを用い、物質の新しい存在形態をつくりだすとともに、これらの粒子をプローブとしてユニークな研究方法を開発し、未知の物質構造を探究しようとするものである。それらの研究は4つのアレナから成る。

第1のアレナ“KAON”、は12 GeV陽子シンクロトロンを増強することにより、大強度中間子ビーム等を用い、ストレンジネスをもつハイパー原子核をつくるなど、原子核の深奥殻構造、クォーク構造にかかわる問題、標準模型を越える素粒子物理などを解明しようとする。

第2のアレナ“MESON”は、中間子科学であり、第1リングからの大強度陽子ビームにより発生するミュオン及びパイオンを用いる。多彩なビーム

時間構造（パルス状、連続状）とエネルギー（超低エネルギーからGeV領域まで）をもち、原子核、素粒子物理にも、また物性物理や化学にも広大な新分野をひらくことが期待される。

第3のアレナ“NEUTRON”は、第1リングからの大強度パルス陽子ビームによって発生するパルス中性子を用いるもので、その中性子散乱実験施設は高エネルギー物理学研究所で開発されたものの第2世代として、次代の物性研究に不可欠である。また基礎物理としての中性子研究もこのアレナに属する。

第4のアレナ“EXOTIC NUCLEI”は、大強度陽子加速器と重イオン加速器を結合して多種の短寿命不安定核ビームを生成し、これによって従来、研究が不可能とされていた核反応過程や、超重元素合成、天体核現象の研究など、原子核研究と周辺領域に新分野をひらくものである。

2. 原子核専門委員会は、その前身の原子核研究連絡委員会の時代からこれまで多年にわたり、核物理の将来計画について種々の角度からの検討を重ねてきたが、次世代における我が国の核物理研究の中核として本計画を推進すべきであるとの結論に達している。
3. 物理学研究連絡委員会は、この計画に対する物理学全分野としての対応を検討するため大型ハドロン計画ワーキンググループを設置した。同ワーキンググループは、この計画が原子核分野にとどまらず、物性物理、原子物理など、ひろく物理学全般に極めて大きな影響をもつことを確認し、基礎物理学の研究計画としてのその意義とその発展性を検討し、これを高く評価した。
4. 諸外国に現存する、または計画中の施設と比較して、本計画には、国際的にユニークな価値を認めることができる。かつ、物理学の範囲にとどまらず、学際的に化学、生物学、工学等の研究に寄与するところが大きいものとする。
5. 本計画を実施する場合、加速器実験施設等の建設に当たる研究者、建設後これを利用して研究の遂行に当たる研究者の数と質について、我が国の水準は十分に高い。さらに本計画の進行とともに、新鋭の研究者がこれに参加すること

は疑いない。海外からこれに参加する研究者も相当多数あるものと期待される。また、過去の加速器建設によって、我が国の技術は進歩し、世界的に見て優秀である。

6. 本計画遂行の主体として、国際的にも学際的にも開かれた共同利用研究所が必要であるが、それには東京大学原子核研究所と高エネルギー物理学研究所とが協力してこれに当たるのが最も適切である。
7. 以上を総合し、同ワーキンググループは、本計画が物理学全体の立場から見て、妥当、かつ適切であり、時機を失うことなく実現されることが極めて望ましい、との結論を得た。
8. 1987年6月12日、この報告を受けた物理学研究連絡委員会は、本計画の意義を高く評価し、できるだけ速やかにその実現を図ることを決議した。
9. 物理学研究連絡委員会は、それが科学の諸分野の将来の発展にかかわるところ大であることにかんがみ、第4部会にもこの計画についての検討を依頼した。第4部会では検討の結果、この計画の推進を図ることが了承された。

大型ハドロン計画 ワーキンググループ報告

(参考)

物理学研究連絡委員会大型ハドロン計画ワーキンググループ

かねてから大型ハドロン計画の検討を行ってきた原子核専門委員会の要望に基づき、この計画に対する物理学全分野としての対応を検討するために、1986年11月13日、物理学研究連絡委員会は大型ハドロン計画ワーキンググループの設置を決定した。そのメンバーは次のとおりである。

原子核分野：尾崎 敏 小林 農作 山口 嘉夫

物性分野：川路 紳治 伊達 宗行 中嶋 貞雄

物理一般：蟻川 達男 市川 芳彦 宅間 宏

計画関係者：山崎 敏光

物研連役員：久保 亮五※ 小沼 通二 西川 哲治 ※はフェラン

本ワーキンググループは3回にわたる会合において、この計画の内容、その実現性、物理学の将来に対するその意義等を討論した。その結果をここに報告する。

I ま と め

1. 本計画は1983年以来、ハドロン加速器を中心施設とする核物理並びに関連諸分野の次期計画として、関係研究者が中心となって検討してきたものである。1986年以降には、東京大学原子核研究所に設けられた大ハドロン計画推進作業部会においてその具体案の作成が進められている。

本計画の加速器コンプレックスは、付図に示されているように

(1) 12 GeV陽子シンクロトロン

- (2) 大強度2 GeVシンクロトロン (第一リングA)
- (3) ストレッチャー・シンクロトロン (第一リングB)
- (4) 陽子リニアック (1 GeV)
- (5) 重イオンリニアック

の5個の加速器から成る。このうち、(1)は高エネルギー物理学研究所に現存するものを増強して用いるが、(2)から(5)は新たに建設する。

本計画は、これらの加速器から生成される多彩な粒子ビームを用い、物質の新しい存在形態をつくりだすとともに、これらの粒子をプローブとしてユニークな研究方法を開発し未知の物質構造を探究しようとするものである。それらの研究は4つのアレナから成る。

第1のアレナ“KAON”は、増強された12 GeV陽子シンクロトロンにより、大強度中間子ビーム等を用い、ストレンジネスをもつハイパー原子核をつくるなど、原子核の深奥殻構造、クォーク構造にかかわる問題、標準模型を越える素粒子物理などを解明しようとする。

第2のアレナ“MESON”は、中間子科学であり、第1リングからの大強度陽子ビームにより発生するミューオン及びパイオンを用いる。これらは原子核、素粒子物理にも、また物性物理や化学にも広大な新分野をひらくことが期待される。

第3のアレナ“NEUTRON”は、第1リングからの大強度パルス陽子ビームによって発生するパルス中性子を用いるもので、その中性子散乱実験施設は高エネルギー物理学研究所に現存するものの第2世代として、次代の物性研究に不可欠である。また基礎物理としての中性子研究もこのアレナに属する。

第4のアレナ“EXOTIC NUCLEI”は、大強度陽子加速器と重イオン加速器を結合して多種の短寿命不安定核ビームを生成し、これによる核反応を用いて原子核研究に新分野をひらくものである。

2. 原子核専門委員会は、その前身の原子核研究連絡委員会の時代からこれまで多年にわたり、核物理の将来計画について種々の角度からの検討を重ねてきたが、次世代における我が国の核物理研究の中核として本計画を推進すべきであるとの結論に達している。
3. 本ワーキンググループでは、この計画が、核物理分野にとどまらず、物性物理、原子物理等、ひろく物理学全般に極めて大きな影響をもつことを認識し、基礎物理学の研究計画としてのその意義とその発展性を検討し、これを高く評価した。
4. 諸外国に現存する、または計画中の施設と比較して、本計画には、国際的にユニークな価値を認めることができる。かつ、物理学の範囲にとどまらず、学際的に化学、生物学等の研究に寄与するところが大きいものとする。
5. 本計画を実施する場合、加速器実験施設等の建設に当たる研究者、建設後これを利用して研究の遂行に当たる研究者の数と質について、我が国の水準は充分に高い。さらに本計画の進行とともに、新鋭の研究者がこれに参加することは疑いない。海外からこれに参加する研究者も相当多数あるものと期待される。また、過去の加速器建設によって、我が国の技術は進歩し、世界的に見て優秀である。
6. 本計画遂行の主体として、国際的にも、学際的にも開かれた共同利用研究所が必要であるが、それには東京大学原子核研究所を母体としてこれを建設することが最も適切である。また、高エネルギー物理学研究所との密接な協力が本質的に不可欠である。
7. 以上を総合し、本ワーキンググループは、本計画が物理学全体の立場から見て、妥当、かつ適切であり、時機を失うことなく実現されることが極めて望ましい、との結論を得た。

II 専門的立場からの評価

本ワーキンググループは、その作業の過程において、それぞれの専門的立場からも、本計画を検討し評価を加えた。その要約を以下に記す。

1. 核物理の立場から

最近の核物理学は、原子核が、(1) 核子多体系 (2) ハドロン多体系 (3) クォーク多体系の三層のそれぞれにおいていかにとらえられるか、またそれらが相互にいかに関連しているか、という観点を中心として発展しつつあり、その各層において新しい実験的研究が進み、理解が深まりつつある。この見地からすれば、大型ハドロン計画は、その強調点を (2) と (3) の中間に置き、原子核を量子色力学との接点においてとらえ、核物理の新しい領域に開拓的精神をもって挑戦するものといえよう。

この計画が目指す物理は、象徴的に

- ① K中間子 ② GeVパイオン ③ 不安定核

の三つに分けられる。

①の素粒子サイドではK中間子稀崩壊、 $S = -2$ ハドロンの研究が、原子核サイドではハイパー核の研究が主要テーマとなろう。後者は不純物核物質物性ともいうべきもので、②のハイパー核研究と相補的である。これらの分野での国際的競争はきびしい。KEK-PS及び実験設備の増強と学問的オリジナリティが要求される。

②の領域では、本計画により、国際的に最強のビームが得られよう。

(π 、K) 反応によるハイパー核の研究は①以上に有望である。GeVパイオンによる核物理は、国際的にユニークで、新しい展開が予想されるが、かなり複雑でもあり、我が国研究者の独創性に期待する。また、ニュート

リノの研究に新生面がひらかれるかもしれない。

③は二つの分野に分けられる。第一は低エネルギーファクトリ（重イオンライナック）で、テーマとしては原子核の存在限界と天体核現象の研究がハイライトである。国際的には、カナダのTRIUMFを越え、ユニークであり、早期実現が望まれる。第二は高エネルギーファクトリ（第一リングB、12 GeV PS）で、物理としては低エネルギーファクトリと共通なテーマもあるが、中性子過剰核の二次反応や巨大共鳴電磁励起が特記すべきものであろう。西ドイツのGSIが同様な計画をもって現在建設が進行中であるので、これとの競争となろうが、本計画は最近完成された理研リングサイクロトロンと相補いつつ、GSIの研究計画に対抗し得るものと考えられる。

以上のほかにも、サーマルミューオン、超低温中性子などにも、重要なテーマがあろうし、また反陽子についても、我が国に唯一のファシリテイとして活躍の余地はあろうと思われる。

核物理分野の大型プロジェクトとしては阪大核物理研究センター（RCNP）のサイクロトロンカスケード計画（ $E_p = 400 \text{ MeV}$ ）が進行中である。この計画は核子多体系とハドロン多体系の描像の接点にあり、大型ハドロン計画とは相補的な関係にある。

個々の研究者は、核の多様な描像に対応して、その興味は多方面に及ぶ。ユーザー層には、当然重なりがあり、一人の研究者が複数のプロジェクトに参加することが可能であり、またそれは我が国の研究の厚味を増すことになる。現在、主要研究者の数はスタッフとして50人内外であるが、大型ハドロン計画の進行とともに、若手の研究者が新たに参加する。現在、関係分野のスタッフ、大学院学生をもつ大学としては、筑波大、東大、東工大、名大、京大、阪大、広大などがあげられるが、さらに多くの大学が、この分野に加わるであろう。

現在でも、KEK-P S、ブースター施設には、外国からの研究者の参加があるが、本計画が完成すれば、世界的にユニークな施設として多数の参加希望があるものと期待される。国際交流の推進もこの計画の大きな目的のひとつである。

2. 物性研究の立場から

(1) スパレーションパルス中性子源施設としての本計画

物性物理学は研究対象が多彩であり、研究方法も極めて多岐にわたる。それらの多くは必ずしも巨大な装置を要せず、研究者の独創性と興味によって導かれた研究によってこれまでの学問体系が形成されてきた。一方、常に可能な限り、あらゆる手段を利用する必要から、大型装置の役割は近年、ますます大きなものになっている。その中で、高中性子束による中性子回折、中性子非弾性散乱は、最も重要な基礎的方法である。しかしながら、我が国では、種々の制約から、この目的に用いられる研究用原子炉の発達は著しく遅れ、期待されている日本原子力研究所の改造3号炉が完成しても、中性子束強度としては世界水準において二流をもって甘んじなければならない状態である。

他方、加速器を利用したパルス中性子源による物性研究においては、すでに10年以上前から故石川義和教授を中心とした我が国の中性子研究グループは、世界的に先駆的業績を挙げてきた。これは、KEK-P Sのブースターを利用するもので、KENS-Iと呼ばれている。スパレーションパルス中性子ビームは、原子炉からの連続ビームとちがった特徴をもち、これと相補的である。特に情報の時間分解処理が可能であり、高度の情報分離に極めて有効である。KENS-Iは、スパレーション中性子ビームの有効性を種々の物性研究において実証し、世界的に高い評価を得ている。この実績を基礎として、原子炉にきつ抗し、いくつかの面でこれを凌駕し得る大強度のスパレーション・ソースとして、

第二世代のKENS-II計画が検討されていたが、この大型ハドロン計画とのドッキングによってそれが現実性をもってきたことは、物性研究者から高い評価が与えられている。これが完成すれば、現在建設中、または計画中の英、米の同種の施設と優に比肩し、1990年代において世界第一級の研究センターとして活躍することになる。我が国の中性子散乱実験研究は、歴史的に磁性研究に偏り、さらに原子炉中性子源が貧弱であることから、研究者の数は多くはないが、その質は優れている。近年行われている日米、日英国際協力もその実を挙げているし、KENS-Iの成功は研究者を勇気づけた。今後の中性子散乱研究は、固体物理ばかりでなく、高分子を含む化学、生物化学分野への応用が重要になる。この大型ハドロン計画によって、そのような広汎な諸分野における活動を国内で拓けることは極めて望ましい。また、これはアジア地区に唯一の施設としても国際協力に役立つであろう。

(2) ミューオンによる物性研究

第二のアレナ“MESON”が目指す中間子科学には、ミューオンビームを用いる物性研究がある。これは10年そこそこの若い歴史をもつ分野であるが、核磁気共鳴、中性子散乱、モスbauer効果など既成の方法と相補的な特徴をもち、転移点付近の緩和機構、スピングラスのダイナミックス、軽い粒子の量子的拡散など、興味ある基礎的問題の解明に役立っている。表面物性の研究にも新生面をひらくことが期待される。この方法の原理は、スピン偏極をもって物質に入射し、そのなかに捕らえられたミューオンのスピン回転、緩和、または共鳴をミューオン崩壊の際の電子または陽電子放出の異方性によって観測し、物質中でのミューオンの運動や、物質原子、原子核の運動の様相を知ることにある。諸外国にあるメソンファクトリーでは、連続状ミューオンビームを用いているが、本計画では主として、中性子と同様、第一リングバルスから生

成するパルス状ミューオンビームを用いる。これは、現在、高エネルギー研のブースタを利用している中間子実験施設（BOOM）の第二世代となる。BOOMにくらべて格段に強力であるので、他の追隨を許さないユニークなものとなるであろう。これは、次項にのべるように、物性研究以外にも学際的な研究を促進することが期待される。

3. 物理学一般の立場から

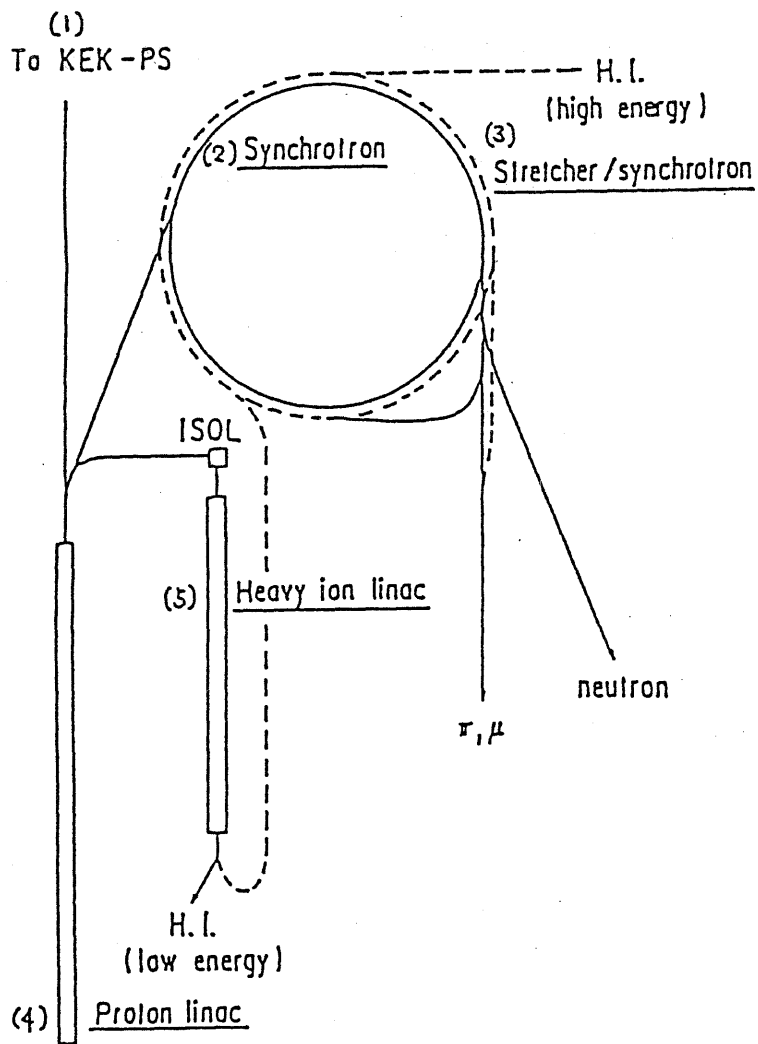
大型ハドロン計画と特に密接な関連をもつ物理学一般の分野としては、原子・分子物理学、核融合・プラズマ物理学及び放射線生物学・医学等が挙げられる。

まず、原子・分子物理学については、高精度のレーザー分光学の手法を駆使して、ミューオンを含む原子に関する精密な研究を行うことは極めて魅力的な課題である。ラムシフト、超微細構造などの精度の高い数値は、量子電磁力学の立場からも興味深い。レーザー技術の有効な利用は、ミューオン原子・分子研究にとっての鍵であり、レーザー分光学者の協力が不可欠である。

ミューオン触媒核反応が核融合炉の可能性を与えるか否かは、今後研究を要する重要課題であり、この計画の一環として進められることが望まれる。

またこの計画が重イオンビームを用いる原子物理学に大きな影響を与えることは必然であるし、また慣性核融合の研究などにもなんらかのインパクトを及ぼすであろう。

現在、我が国におけるこの方面の研究設備は貧弱であり、研究態勢は甚だ不十分であるが、本計画の進展が物理一般にわたって若手の研究者を刺激し、施設の改善とともに意欲的な研究活動が活発になることが期待される。



大型ハドロン計画の加速器コンプレックスの概念図