

日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）
第6次評価委員会
報告書
（2014年2月）

総括と提言

Executive Summary and Recommendations

総括

- 1) 日米事業は、基礎科学のために日本が進めてきた国際共同研究事業としては、予算、人員、期間とも最大級であり、米国の加速器を利用する高エネルギー実験及び関連の研究開発において多くの成果を上げるとともに、国際的視野を持つ多くの若手研究者を育成し、日本における高エネルギー物理学の進展に多大な寄与をしてきたものであり、その歴史的役割は高く評価される。
- 2) 日米事業の形態と運営の枠組みは、30年間にわたる実績があり、効果的に推進されてきたと言える。特に、研究資金の長期安定的、且つ柔軟な執行方式は、他の資金にはない特色を持っており、日米事業の推進・継続の基盤となってきたことを高く評価する。
- 3) 日米事業で蓄積された人的・物的資産は膨大であり、これを有効活用した研究課題を採択し、日米事業を継続してきたことは日米両国にとって非常に有意義であったと言える。
- 4) 日本に大型加速器が次々と建設され、国際的な研究拠点を形成してきた反面、米国の加速器はその役割を終えつつある。そのため当初の目標を見直すべき新しい段階を迎えていることは、既に関係者の間の共通認識となっており、新しい意義付けや方向性に関して、タスクフォースやワーキンググループでの検討など、様々な試みがなされている。
- 5) 実際の課題採択に当たっては、日本の研究施設を基盤とする研究に米国の研究者が参加する研究形態が増えており、日米事業の双方向性の実現という観点からも望ましい進展として評価できる。また、人工衛星を利用した宇宙線観測の研究を支援していることは、加速器中心の枠組みを拡大した試みとして評価できる。
- 6) 加速器関連の開発研究では、日米の研究施設、専門家の知識・技術が有効に活用されており、グローバルな研究テーマにおいても、日米事業の利点を存分に活用し、成果を上げている。但し、若手研究者の参加が非常に少ないことが憂慮される場所である。
- 7) 研究課題の個別評価を、5年に一度設置される評価委員会に委ねているが、個々の研究の終了時点で専門家による評価を行い、日米事業の成果として蓄積しておく必要がある。

提言

- 1) 日米事業は、2国間の協力事業の特性を維持しつつ継続すべきである。但し、日米間の状況の変化を踏まえ、事業の意義付けや枠組み等を見直すことが求められる。
- 2) 研究資金の長期安定的で柔軟な運用を維持し、他の資金にない特徴を有効に活用すべきである。
- 3) 日米の枠組み、人的・物的資産を最大限に活用すべきである。
- 4) 課題採択に当たっては、日米事業の意義付けを明確にし、適度なバランスと集中を考慮した選択をすべきである。
- 5) 日米事業の枠組みを活用して、加速器研究を継承発展させるための若手育成に KEK と各大学が協力して組織的に取り組む必要がある。

1. はじめに

本報告書は、高エネルギー加速器研究機構の「日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究計画委員会規程」に基づき設置された「第6次評価委員会（以下「委員会」）」が、2008年度から2012年度までの研究活動を主たる対象としつつ、この事業全体の実績も含めて評価したものである。

委員会は2013年10月から4回会合を行った。この間、課題代表者からのヒアリングなどを中心に、研究課題の評価を行った。また、30年以上にわたる本事業全体に関わる実績と、新しい段階にきた事業の意義などについても検討・討論を行い、それらを総括すると共に、今後の事業に対する提言をまとめた。

2. 全体評価

2-1. 日米事業の意義について

日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）（以下「日米事業」）は、1979年発足以来30年以上にわたり我が国の高エネルギー物理学分野において重要な役割を果たしてきた。当初の主目的は、未だ発展途上であった日本の高エネルギー物理学分野の研究者を米国の世界最先端の加速器研究所に派遣し、現場での加速器実験に取り組みさせることにより、研究レベル、技術レベルの向上を図ることにあつた。この目的は、着実に成果を上げ、その後、日本国内では、TRISTANの建設で世界の第一線に立ち、それに続くKEKB/BelleではSLAC/BaBarと共に、小林・益川のノーベル物理学賞受賞に決定的な成果を上げた。更に、素粒子・原子核研究のみならず多様な最先端研究の拠点としてのJ-PARCの建設や、Super-Kamiokande等の非加速施設の充実など、様々なタイプの研究施設を保有するに至り、名実ともに世界最先端の高エネルギー物理学の拠点を形成している。

一方、米国における情勢は大きく変化している。究極の加速器とも言われ、米国の威信をかけ建設に着手したSSC計画が挫折した後、米国に高エネルギー加速器を新たに建設する目標が失われたとも言え、現時点でも将来展望は必ずしも明確ではない。エネルギーフロンティアとして活躍してきた大型加速器TEVATRONをはじめ、この30年間、日米事業を支えてきた米国の高エネルギー加速器は、相次いでその役割を終えている。他方では、CERNのLHCが稼働し、2013年にはHiggs粒子の発見がアナウンスされ、その実験成果を基に、理論提唱者達に2013年度ノーベル物理学賞が授与されたことは記憶に新しい。そのLHCには多くの日本人研究者が参加し、重要な役割を果たしている。更に、日本の研究者達は、次世代巨大加速器であるLinear Colliderの実現に向けて国際的にも主導的な活動を展開している。

日米事業は、基礎科学のために日本が進めてきた国際共同研究事業としては、予算、人員、期間とも最大級であり、米国の加速器を利用する高エネルギー実験及び関連の研究開発において多くの成果を上げた。また国際的視野を持つ多くの若手研究者を育成し、日本における高エネルギー物理学の進展に多大な寄与をしてきたものであり、高く評価される。

しかしながら、米国の主要加速器は次々と閉鎖され、大型実験が終了し、最盛期は年度当たり15億円規模になった日米事業予算も、近年は約4億円程度に減少し、研究グループの規模も縮小してきており、研究資金面からも日米事業は新たな段階を迎えたことが裏付けられる。（資料4.「年度別採択件数及び配分額の推移」参照）。日米事業が日本の高エネルギー物理学

を強力に牽引する時代は終わり、多国間の国際協力が常識となっている現状においては、研究者達の日米事業に対する見方も変化してきている。日米事業のように2国間に限定した事業は、それが故に、逆に排他的な事業として誤解され、その存在意義を問われる恐れがありうる。今後の事業運営を継続する上では、「なぜ日米だけでやるのか？」という素朴な問いかけにしっかりと答えていく必要がある。

以上のように、日米事業を取り巻く世界情勢は変化してきたが、30年以上継続されてきた日米事業には、多大な技術的・物的資産とそれらを支えてきた人的資源（研究者・技術者）が蓄積されており、これらを消失させるべきではない。むしろこの枠組みや、人的・物的資源や資産を有効に活用し、日米両国にとっての利点を大いに活かしていくべきである。そのためにも、日米事業のあり方を常に見直し、必要な改善を行い、その意義を外部に発信していくことが重要である。

2-2 日米事業の形態及び運営について

日米事業は、1979年5月に締結された「エネルギー及びこれに関連する分野における研究開発のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国政府との間の協定」（以下「日米エネルギー協定」）の下に1979年11月に締結した「高エネルギー物理学の分野における協力に関する日本文部省とアメリカ合衆国エネルギー省との間の実施取極」（以下「日米実施取極」）に基づき事業を開始した。

その後、「日米エネルギー協定」は数度の改正・延長を経た後、2005年9月に有効期間が満了となったが、同協定の「協定の終了は、履行の完了していない計画の実施には影響を及ぼさない」という条項により、現在まで事業が継続されている。同協定が失効している状況を解決するため、既に1988年に日米間で締結されていた「日米科学技術協力協定」の下に、新たに高エネルギー分野の協力を定義づけるべく、2013年に、文科省と米国DOEとの間に実施取極が締結された。この実施取極は高エネルギー分野以外にも様々な科学技術の分野を含んでいるため、実施取極の更の下に高エネルギー分野のための協力を定義する“Project Arrangement”締結のための準備が現在進められている。

日米事業の具体的な運営は、概略以下のようになっている。日本側では高エネルギー加速器研究機構（以下KEK）が代表機関となり、この事業のための研究費予算枠を確保し、国内公募をおこなう。これに応じた国内大学の研究グループが申請書を提出し、これをKEKに置かれた「日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究計画委員会」（以下「研究計画委員会」。「資料5. 日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究計画委員会名簿」参照）、及び、日米の委員から構成される「日米合同委員会」において審査する。日米合同委員会において採択された研究計画に対しては、KEKから物件費が、また、それに連動して日本学術振興会から旅費が支出される。なお、米国側には日米事業に特化した予算は確保されておらず、米国内で独自に獲得した予算額を日本側の予算額と併記することで、米国側の本事業に対する分担としている。研究成果報告は、毎年度末に研究計画委員会において行われる。

この日米事業の形態と運営の枠組みは、30年間にわたる実績があり、効果的に推進されてきたと言える。特に、研究計画委員会や日米合同委員会が、高エネルギー物理学関連分野の専門的見地から、幅広い視野と長期的展望に基づき研究課題を選定することにより、大規模実験、将来計画のための基礎的・準備的研究や萌芽的R&Dなどに長期的・安定的な支援を行うこと

ができる点が、科研費などの他の資金とは異なる利点である。また、KEK が代表機関となっ
てはいるが、研究課題採択後は、KEK は事務的業務などの支援に徹し、事業資金の運用を課
題代表者に任すことにより研究グループの自主性を尊重している。今後もこれらの特色を活か
した事業運営を継続することを強く勧める。

2-3 この5年間の活動の概略

本委員会が評価対象とする 2008-2012 年度の活動について、最初に、日米事業のあり方
に関する種々の取り組みについて、次に対象期間に採択されている研究課題の成果について評価
する。

まず、日米事業のあり方に関しては、以下のような活動が行われた。

- ・ 2010.9-2-11.1 日本における研究支援検討タスクフォースの立ち上げ。
- ・ 2011.7 シカゴ大にて、第 33 回日米合同委員会開催
日本における研究を支援することに合意
- ・ 2011.12 日米科学技術協力ワークショップの開催
- ・ 2012.4 葉山にて、第 34 回日米合同委員会開催
今後の日米の事業としてのロードマップを検討するワーキンググループ立ち上げ。

なお、今回の評価期間を越えるが、引き続き以下のような活動が行われている。

- ・ 2013.4 SLAC にて、第 35 回日米合同委員会開催
ワーキンググループ報告
- ・ 2013.4 日米科学技術協定下の実施取極締結（文科省-米国 DOE 間）
- ・ 2013 年度の新しい試み
 - ・ 日米の共同研究の可能性を議論するための枠を新設
 - ・ 米国における将来計画討議に参加するための旅費を措置

これらの活動は、新たな段階に来た日米事業のあり方、意義付けに関して、積極的に問題点を
分析しその具体的な対策を検討・実施したものであり、評価できる。今後も、常に問題点の見直
しを行い、意義ある日米事業を推進することが望まれる。

次に、5年間に実施されている研究課題は、大まかに分類すると、物理実験が 3 件、加速器
技術の開発関係が 6 件、測定器等開発関係が 15 件、その他 1 件である（「資料 3・評価対象課
題一覧表」参照）。これらの研究の実施期間は、既に終わっているもの、現在活発に活動してい
るもの、始まったばかりのもの等があり、これらを同列に評価することは必ずしも妥当とは言え
ない。しかし、それぞれの課題代表者からのヒアリングにより、年度の違いをある程度補正する
ことができたものとして評価した。

研究課題の個別評価については、次節で詳述するが、特にこの 5 年間の研究では、以下の
ような特徴が挙げられる。

- ① Fermilab の CDF 実験が最終年度を迎えたことは、日米事業の節目を象徴するものである。
CDF 実験は日米事業開始当初から継続して行われた代表的実験であり、質の高い研究を行
った好例である。また、BNL の PHENIX 実験は、現在、米国でのみ可能な加速器実験であ

り、これらを長期にわたり継続的・安定的に支援してきた日米事業の役割はきわめて重要であったと評価できる。

- ② GLAST は人工衛星を用いたガンマ線観測実験であり、従来の加速器中心型の日米事業の枠組みを広げた実験として評価できる。
- ③ 米国の施設での大型実験が減少する一方では、SuperKEKB や J-PARC 等日本の加速器施設の将来計画のための準備実験や開発研究が多く採択されている。すなわち日本の施設を基盤とした研究にも支援するという日米合同委員会の合意を先取りして、新しい方向性を示しており注目に値する。今後もこの方向性は継続すべきである。
- ④ 国際的な次世代大型プロジェクトであるリニアコライダー（ILC）のための技術的研究開発の研究課題には多くの予算配分があり、日米事業の中の重点的課題であることが示されている。また、日米の加速器施設や専門家等の物的・人的資産が有効に活用されており、日米事業が、グローバルな国際協力プロジェクトの重要部分を担う有効な2国間協力として、その役割を果たしていることが示されている。
- ⑤ 加速器の技術開発研究については、その内容は将来計画にとって重要でありその成果は十分評価できるものである。但し、それを担う研究者に若手の参加が非常に少ないことが憂慮される。

これらの研究課題は、過去の評価委員会の提言や、上述の日米事業のあり方に関する様々な取り組み結果を反映した研究・技術開発として、素粒子・原子核・宇宙及び加速器の各分野にわたり、適度なメリハリとバランスをもって採択されており、総じて、新しい段階を迎えた日米事業にふさわしいものであったと評価できる。（資料6.「日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）採択課題状況（2012年度）」参照）

なお、研究課題の実施期間に関わらず評価の時期が5年ごとと機械的に決められていることにより、研究が既に終わったものや、研究の始まったばかりのものを同列に評価せざるを得ない点を指摘したが、今後は各研究期間終了時に別途専門家による個別評価を行い、これを資料として蓄積するなど、個別評価の妥当性について再検討を要する。

3. 個別評価

A. 実験

A1 陽子反陽子衝突による重い粒子の検出 (CDF)

(代表者：受川史彦)

本実験は日米協力事業開始当初から継続して行われてきた本事業の中心的な課題である。2011年9月末に Fermilab の TEVATRON 加速器が運転を終了したことにより、2012年度を最後に本事業としては終了となった。TEVATRON RUN II 最後の 2008～2011 年は高いルミノシティにより CDF 実験としては最も生産的な時期であった。また同時に、LHC 加速器の稼働に伴って人材の流出が増えていた時期でもある。トップクォーク質量と W ボゾン質量の更なる精密測定、軽い標準模型ヒッグス粒子の探索（特に 150～180 GeV 領域を棄却したこと）など、世界最先端の優れた成果を挙げた。今後全データを用いた最終的な物理解析を終わらせて本実験は終了となる予定である。日本グループが中心となって貢献している成果としては、 $B \rightarrow (K) \mu^+ \mu^-$ の解析結果が近々発表される予定であり、また、標準理論の予想値からのずれが話題となっているトップクォーク対生成の前後方非対称度の最終解析（2 レプトンチャンネル）が進行中である。本実験は、従来型の日米協力事業課題として、海外の最先端の加速器実験に参加して質の高い研究を行った好例である。長期にわたる大型加速器実験を支える継続的・安定的な予算基盤として本事業の役割は極めて重要であったといえよう。

A2 RHIC における高エネルギー重イオン衝突実験 (RHIC/PHENIX)

(代表者：江角晋一)

この研究は、BNL の Relativistic Heavy Ion Collider(RHIC)での高エネルギー重イオン衝突実験により、Quark Gluon Plasma(QGP)と呼ばれる状態を発見し、核物質の相図を明らかにすることを目的としてはじまったもので、長期にわたるプロジェクトである。日米協力事業として建設された PHENIX 測定器群は lepton, photon の測定に特徴がある。PHENIX グループは大きな国際グループであるが測定器建設への日本グループの寄与は非常に大きい。当初は永宮氏が spokesman を最近では秋葉氏が deputy spokesman を務めるなど、その後の実験、データ解析においても日本グループの存在感は大きい。また現在実験開始から 10 年あまりであるが、jet quenching や楕円フローの発見から QGP 生成が明らかになるなど、非常に大きな成果をあげてきたことは高く評価してよい。最近の 4 年間の成果としては、QGP からの直接光の観測に成功したことが特筆される。この結果衝突の初期温度が 300 MeV 以上になっていることが明らかとなり、理論的に QGP 生成に必要とされる温度を超えていることが実験的明らかとなった。この直接光観測への日本グループの貢献が大きいことは、そのリーダーである秋葉氏にこの業績により 2012 年度仁科賞が授与されたことでもわかる。

またこの研究が若手研究者の養成にも役立ってきたことは、博士取得者数などからも見て取れる。一般にこのような長期にわたる外国での実験では大学のスタッフが現地に長期滞在できないために大学院生の指導に問題がでるケースが少なくない。PHENIX の場合は、この日米協力事業とは別の RHIC でのスピン物理を理研のグループがほぼ常駐してその中心となって支えており、そのことがプラスとなっているように見受けられる。

PHENIX 重イオン実験は現在の測定器で今後 heavy quark 生成の測定および臨界点探索などを目指す低エネルギースキャンが予定されている。これまでの日本グループの寄与を背景としてさらなる成果をあげるよう期待する。

A3 GLAST ガンマ線宇宙望遠鏡の開発

(代表者：深沢泰司)

本研究課題は、1998年から始まった課題であり、GLAST（打ち上げ後Fermi衛星）の基幹的測定装置であるLAT（Large Area Telescope）の開発として始まり、衛星打ち上げ以降は科学観測をおこなっている。

測定器開発では、シリコンストリップセンサーの設計、製造、各種試験実験、ソフトウェア開発、キャリブレーションへの参加をしている。2008年の打ち上げ以降は、データ監視シフト、キャリブレーションに参加するとともに、サイエンスデータの解析をおこなっている。日米の棲み分け、協力も良く機能している。

本Fermi衛星におけるサイエンスは、GeVガンマ線の観測により、ガンマ線天体の研究、パルサーの研究、ダークマターの探索、宇宙線起源の解明、宇宙線加速機構の解明など、極めて興味深いものである。すでに多くの論文が発表されており、日本の貢献も大きく、多くの成果が期待される重要な課題である。

なお、衛星打ち上げ後は、開発からサイエンスに課題の内容が変わっているので、今後も続けるのであれば、課題名に工夫が必要であろう。

B. 加速器技術の開発

B1 先端加速器技術の開発

(代表者：山口誠哉)

超伝導加速空洞の技術開発では、空洞製作方法の確立、表面処理方法の確立と表面放電現象の解明、京都カメラによる空洞内面観察と電子放出箇所の特定制と局所研磨装置の開発、および空洞内面の溶接ビードの表面観察手法の高度化等を日米で実施した。その結果、高加速電界強度を実現する表面処理技術を確認し、目標値 28MV/m に対して 11 台の SC 空洞の平均として 36.4MV/m の加速電界強度を実現した。

B2 リニアコライダーを含む先端加速器技術開発研究

(代表者：早野仁司)

基盤となる重要な技術の確立を目指し、日米の関連施設（ATF(final focus beam-line)、klystron Lab(SLAC), Industrial lab(FNAL,SC-cavity test facility), SClab(JLAB), STF(SC test linac))における人と施設、および技術的ノウハウを最大限活用することで、超伝導加速システムの試験器を構築し実電流加速試験に成功した。

B3 最先端加速器のビーム制御に関する開発

(代表者：浦川順治)

レーザー干渉計によるビームサイズ計測システムの高度化と、ATFでの最終収束システムの性能向上を実施し収束点でビームサイズ 73nm を SLAC の研究者参加のもと実現した。しかし、目標値 37nm に向けさらなる装置の安定化が求められている。

リニア・コライダーの実現にとって重要な技術的課題を解決するための課題で 2009 年から 2013 年にかけて実施されてきた。課題としていた超伝導加速システムの建設手法や、高性能電子銃および最終ビーム収束ラインの確立等に関して、日米の持つ優れた人的、技術的資源を効率的に活用することで大きな成果

を生み出した。また日本側のプログラムの進行により米国側の研究予算が認められるなど、米国側の研究環境の改善等にも一定の効果が認められた。なお、この分野の研究開発は、日米二国間の枠組みのみにとられず、日米欧等のグローバルな視点の中で進めることが望ましい。

B4 次世代高ルミノシティークライダーの研究

(代表者：飛山真理)

SuperKEKB 加速器の運転に重要なビーム-ビーム相互作用、ビーム診断システム、ビーム不安定性抑制装置、低結合インピーダンスコリメータ、電子雲不安定性抑制手法の確立等、および次世代高ルミノシティークライダーに必須な要素技術等の開発を SLAC などの加速器設備と人的資源を有効に活用することで実施し、Super-KEKB 建設における課題の解決に効果を上げた。また、この日米共同事業が、現時点では米国での高エネルギー加速器施設に於ける人材と各種技術的ノウハウの維持に一定の役割を果たしているが、今後、米国側の高エネルギー加速器に関する研究開発方針等を十分考慮し対応することが必要で、また、その共同事業の枠組みも日米と言う枠組みから日米欧等、更に広範囲な枠組みで考える必要があると思われる。

B5 将来加速器に向けた高電界加速技術の開発

(代表者：肥後寿泰)

常伝導加速空洞での加速電界強度の限界を目指し、構造の最適化、放電機構の解明、LC を始めとする様々な類似システムへの展開の可能性を検討してきた。現在、長期間運転を実施中で 80MV/m までの安定運転を実現した。日本側で高電界加速の試験とテスト加速空洞の製作を行い加速管の組み立ておよび内面処理、および高電界試験を米国で実施するなど日米での資源を有効に活用することで目標を実現した。これらの結果を基に 150MV/m を超える加速管の設計を実施している。しかし、参加者の固定化と若手の人材養成が行われていないため、本プロジェクトの今後の進展に関して技術等の継承に課題が残る。

B6 SuperKEKB・ナノビーム衝突点用伝導コイルの建設及び振動測定装置の開発

(代表者：大内徳人)

SuperKEKB において最も重要な機器である衝突点近傍の超伝導電磁石システムは 8 台の超伝導四極電磁石、4 台の SC ソレノイドおよび多くのコレクターで構成されている。その中で四極電磁石部に設置するコレクターは空間的制約から超伝導四極電磁石本体に超伝導線材を直巻きで製作することが必須となり BNL で開発された直巻き技術の導入が不可欠となった。

超伝導線と線材を固定するボビンの製作を我が国で、BNL で超伝導四極電磁石表面にコレクターを超伝導線を直巻きで製作する。また、超伝導四極電磁石の振動測定にノウハウを持つ BNL で測定装置を開発・製作する等、日米の人的および技術的資産を活用することで課題を効率的に解決している。このプロジェクトは 2012 年から 2013 年の予定で発足、現在、衝突点左側の QC1LP の磁場特性が KEKE で実施され性能が確認された。残りは順次製作 2013 年度に完成予定。振動測定装置の開発も計画通り進展している。

しかし、ここでも大学院生等若手の参加が少なく、人材育成と技術の継承に課題が残る。

C. 測定器開発

C1 長基線ニュートリノ実験のための新展開

(代表者：中家剛)

Fermilabに於いて、Sci-BooNE実験により、ニュートリノおよび反ニュートリノの反応断面積の高精度測定を行なった。それを長基線ニュートリノ振動実験、特に日本のプロジェクトであるT2K実験に生かすものである。

本課題は、すでに完了している。日本側は、ニュートリノ測定器を中心とした貢献をしている。KEKの実験で使われていたSciBar測定器を設置し、さらにミュオン検出器の建設をおこなった。DAQや解析用コンピュータシステムも日本側が担当している。米国側は、実験施設の整備とニュートリノビームの供給をおこなっている。ミュオン検出器には米国側も担当している。日米の責任分担、協力関係は、極めて明快である。

本実験により、ニュートリノの準弾性散乱や、1パイオン生成反応の断面積、coherent散乱の断面積などが精度よく測定された。これらはT2K実験の基礎データとして活用されている。解析のほとんどは完了しており、多数の論文も書かれており、さらに現在いくつかの論文の準備がなされている。成果も十分にあり、目的はほぼ、達成されたものとおもわれる。

C2 ミュオン電子転換探索実験実現のための新展開

(代表者：青木正治)

C11 先端高強度ミュオン源とミュオン素粒子物理学の展開

(責任者：久野良孝)

荷電レプトンのフレーバーを破る崩壊反応は、標準模型を超える物理の決定的な証拠として近年注目を浴びており、ミュオン原子におけるミュオン-電子転換事象を探索する実験が、J-PARC と Fermilab でそれぞれ計画されている (COMET および Mu2e 実験)。これらの実験ではバックグラウンドの少ない大強度のミュオンビームを実現することが最も重要であり、この2件の課題はそのための共同研究開発を行うもので、C2 (2007-2010 年度)、C11 (2011-2013 年度) と引き継いで規模を拡大して行われてきた。これまでに、陽子ビームの「beam extinction」のためのモニターなどの開発と、パイオン生成ターゲットからパイオン・ミュオンを効率よく捕獲して輸送するための超伝導ソレノイド磁石の開発が進められた。その中で、京都大学原子炉実験所での超伝導磁石材料の放射線耐性の研究や、スイス PSI 研究所でのミュオン捕獲からの放出粒子の研究などが共同で行われている。COMET 実験と Mu2e 実験は基本的に同じ技術を用いて同等の実験感度を目指すものであり、ビームラインなども含め巨額の費用と人材を必要とするため、何らかの形で上手く協力して、より経済的かつ確実に物理成果を挙げていくことが強く望まれている。この共同開発課題はその鍵となる重要なものと考えられる。

C3 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験のための測定器及びビームライン開発研究

C4 J-PARC での中性中間子稀崩壊実験

(代表者：小松原健)

C3 は 2006 年度から 2011 年度まで行われた”J-PARC での $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験のための測定器開発”であり、C4 はそれに引き続く”J-PARC 中性 K 中間子稀崩壊実験”のプログラムである。この研究はともに日米事業で過去にサポートされてきた BNL-AGS および Fermilab での K 中間子稀崩壊や CP 非保存の実験の流れを引き継ぐもので、日米ともこれらの実験の参加者を多く含んでいる。 $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊は CP 非保存の稀崩壊であり標準理論を超える物理の可能性を秘めたプロセスとして注目されてきた。J-PARC では KEK でのパイロット実験 KEK-E391 を引き継ぎ KOTO 実験として最初の測定が

開始されたところである。KOTO 実験では大量の CsI カロリメーターが中心的検出器である。日米事業 C3 では CsI の移設や readout electronics の開発製作が中心であった。その意味では最初の測定ですでに $K_L \rightarrow 2\pi^0, 3\pi^0$ がきれいに捉えられているのは大きく評価できる。

最近の米国の高エネルギー加速器の現状を見ると日本での実験が日米事業に取り上げられるのは当然のことである。比較的少ない予算で米国からの大きな物的・人的寄与を得られるとすれば効率的な事業といえるだろう。CsI とその readout electronics といった米国側の大きな貢献を得て測定器を完成させ実験を開始したことは本事業の大きな成果である。C4 はまだ始まったばかりである。大強度ビームでの実験に備えての detector upgrade が課題である。C3 と同様の成果をあげることを期待する。

C5 SOI 技術を用いた先進的ピクセルセンサーの開発

C6 SOI 技術を用いた先進的ピクセル検出器の開発

(代表者：新井康夫)

高性能で高信頼性と低コストを持ち合わせた SOI 半導体ピクセルセンサーの開発が 2008 年～2011 年度に、ピクセル検出器の開発が 2012 年度から日米事業として実施された。日本側では主に SOI ピクセルセンサーと検出器システムの開発を、米国側はピクセル検出器の設計および高 S/N 比を実現する基盤処理方法の適用等、日米の技術的ノウハウを効率的に連携させることで高性能 SOI ピクセルセンサーおよび検出器を効率的に開発してきた。しかし、今後、さらなる高分解能化、高対放射線性化等高性能化を実現するためには、一つの司令塔のもとで、日米における人的および各機関の有する技術的資源を活用し開発を進める事が必須で、またピクセル型の二次元検出器の利用が急速に拡大している医療診断分野に於ける研究開発者等と密接に連携し進めることも重要である。

ただし、実用検出器に向けたシステム開発が主となる今後、開発した技術的成果の帰属を明確にすることが望まれる。

C7 J-PARC におけるミュオン $g-2$ の精密測定のための開発研究

(代表者：齊藤直人)

ミュオンの異常磁気能率 ($g-2$) の測定値は現在標準模型による計算値から 3 シグマ以上ずれており、2008～2010 年度に行われたこの研究開発課題は、さらなる精密測定に向けて必要な研究開発項目を同定しようとするものであった。当初は以前の実験で使われたミュオン蓄積リングの電磁石を BNL から J-PARC へ移送して実験を行う可能性を考えていたが、検討の末、独自の超冷ミュオンビーム技術を用いて全く新しい実験を行う方針に転換した。BNL の電磁石は現在 Fermilab に移送されて新たなミュオン $g-2$ 実験が準備中である。ミュオン $g-2$ 測定の困難さと重要性を考えると、BNL - Fermilab で行われる実験とは全く異なる技術に基づいた測定には大きな意義があると考えられる。実現までにはまだ多くの技術的課題があるが、その開発研究は 2012 年度から始まった C13 の中で継続して進められている。

C8 高エネルギー物理学のための超伝導カメラ開発

C9 POLARBEAR-II による宇宙マイクロ波背景放射偏光観測

(代表者：羽澄昌史)

これら 2 件の研究のうち 2009 年度に採択された C8 の研究は、高エネルギー物理学のための高感度の超伝導ミリ波カメラの開発である。米国グループは Transition Edge Sensor (TES) ボロメーターを、日本グループは Superconducting Tunneling Junction (STJ) 光検出器の開発を担当し、TES の実効性を確立するに至っている。

2012 年度に採択された C9 の研究では、TES ボロメーターを搭載してすでに実績を上げてきている POLARBEAR-I 実験を POLARBEAR-II にグレードアップし、チリ・アタカマ高地における宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光観測を高精度で行うことを目指している。ビッグバン以前のインフレーション時に生成された原始重力波の刻印を検出し、実験分野から量子重力の本質にまで迫ろうとする試みであり、重力波の直接検出に先立ち、CMB 観測を通して宇宙の奥底を見通す可能性を秘めた研究であるといえる。また、B モード偏光への重力レンズ効果を通してニュートリノの質量和への探求もターゲットとしている。

C8 の研究課題が本事業によって、日本と米国のそれぞれの技術の有効的連携によって効果的に進んだことが、C9 の研究課題の遂行へと導いている。POLARBEAR-I の 1274 個の TES アレイを 7588 個に増強し、新機能を装備した検出器系の構築により、感度を 10 倍に向上させた本プロジェクトの、2016 年からの本格的な観測の成果に期待が寄せられる。宇宙分野に踏み込んだ本事業の大きな成果となる可能性を秘めているといえる。

C10 高輝度電子・陽電子衝突型加速器で使用する PID 検出器の開発

(代表者：飯嶋徹)

Belle II 実験は B, D, τ 稀崩壊の測定による new physics の発見を目標としている。2010 年度から始まったこの研究は、Belle II の PID 検出器、特に K/π 識別のための Time Of Propagation (TOP) counter と μ/K_L 識別のための Barrel KLM detector の開発製作を主な目的としている。これまでの研究で TOP については Spring-8 でのビームでのテストを経てほぼ最終仕様を決定し、KLM はすでに製作が進み installation を始めたという報告であり、研究は順調に進展していると考えられる。Belle II に設置される両検出器とも本体および readout electronics は米国側からの寄与が非常に大きい。本研究は日本で実験が行われる日米事業のなかで、米国側の大きな人的・物的寄与を促進するものとして高く評価できる。

C12 次世代実験のための新 GEANT4 カーネルの開発

(代表者：佐々木節)

本研究課題は、広く高エネルギー実験で使われている GEANT4 の、新しいカーネルの開発を次世代実験の為に行うことである。次世代実験には、最先端技術を用いて、GEANT4 の性能と信頼性をより向上させ、さらに高速化する必要がある。そのために、Multi-Threading や GPGPU の活用など、最先端技術を活用してゆく。

第一歩として、Multi-threading を用いた最初の GEANT4, version 10.0 が、2013 年末にリリースされた。GPGPU/CUDA の活用が試みられている。

SLAC と日本グループは、GEANT4 の開発当初から、重要な関わりをもっており、本課題は、日本とアメリカが、ヨーロッパでの同様の動きと競争してゆくことができる重要なものである。

C13 J-PARC MLF 大立体角パルスミュオンビームラインを用いたミュオン基礎物理の展開

(代表者：三部勉)

この研究は経験のある BNL を中心とした研究者と協力して、J-PARC MLF で建設予定のミュオンビームライン (H-line) を使ってミュオン基礎物理を進めることを目標としている。目標とする基礎物理は muonium の hyperfine splitting、g-2、 μ -e conversion である。具体的にはビームラインや g-2 用 storage ring の設計、NMR などのビームラインや実験に必要な機器の R&D を日米で分担、協力して行うとしている。この研究は 12 年度から始まったもので、まだはっきりした成果がでるまでには至

っていないが、ビームラインの設計や精密磁場測定用 NMR の R&D などが進展しており、2014 年度末には H-line にビームが出ると予想している。日本で行われる実験であることを踏まえ、日米協力事業としては米国側の寄与が目に見えるような成果が生まれることを期待する。

C14. ニュートリノ崩壊探索実験

(代表者：金信弘)

宇宙背景ニュートリノの崩壊事象を探索してニュートリノの寿命及び質量に関する情報を得ようとする計画である。ニュートリノの寿命は標準模型の枠内では 10^{43} 年と測定可能性は期待できない。LHC における実験の進行に伴って、Beyond Standard Model への制約が厳しくなりつつある現在、この計画がニュートリノの質量に関してどこまで所期の成果を出せるかは定かでないが、COBE や AKARI の観測結果から算定したニュートリノの寿命の現在の下限 10^{12} 年は確実に更新しうる計画であろう。

ニュートリノの電磁崩壊に伴う宇宙赤外背景放射(CIB)に十分な感度を持つ超伝導トンネルジャンクション(STJ)遠赤外検出器を開発し、2016 年に実施予定の JAXA/ISAS のロケットでの観測で 10^{14} 年レベルの測定を、さらに 2022 年の衛星観測で 10^{17} 年レベルを目指している。極低温での信号の読み出しエレクトロニクスには Fermilab における米国研究者のノウハウの蓄積を有効に取り入れ、STJ 検出器の開発は日本側の研究者が中心となって R&D が進行中である。遠赤外の高性能光検出器の開発が順調に進めば、それ自体意義深い成果であり、今後いろいろな場面で有用となることが期待される。

C15 Belle II データ再プロセス高度化のためのリモートデータセンターの設立

(代表者：原隆宣)

この研究は 2016 年に物理ランのスタートが予定されている Belle II 実験で得られる膨大なデータ (50PB) を、高い信頼度をもって迅速に解析処理するための仕組みを作りと、その実効性を確認しようとするものである。具体的には、KEK に加えて米国の PNNL (Pacific Northwestern National Laboratory) でも生データを共有し、これら二者の下に世界中のローカル資源を活用して、その再プロセスを高速化することを目指している。

現在、KEK を Master、他を Slave とした GRID 環境を PNNL とともに構築中で、200TB のデータの処理を確認しており、これからデータ量のスケールアップに付随した諸問題の検討に取り組むところである。SuperKEKB における実験が Belle II のみで進められる状況を考えると、そのデータ解析の高速化と解析結果の信頼度をできる限り最大化する環境の整備は、加速器・測定器自体の信頼性の確保とともに、確実に物理成果を達成するためには必須の課題と考えられる。また、将来日本で国際リニアコライダー計画 (ILC) を実施する可能性を考えると、このような大量データを解析する環境の整備はより大きな意義があるであろう。

D. 素粒子データグループ

D1 素粒子データ情報に関する研究

(代表者：日笠健一)

Particle Data Group の絶え間ない活動の成果として隔年ごとに更新されてきている Review of Particle Physics が、世界における素粒子・原子核、さらには宇宙・天体にまで亘った領域の研究活動において、必携の研究資料として果たしている役割は、ここであらためて確認を要することではない。それは国際的な素粒子物理学の研究者コミュニティのアカデミックな連帯的活動として、純粋に研究者精神に基づいて支えられてきている。日本からもこの活動に 10 名ほどの研究者が参画しており、

review の執筆などにおいても、日本の存在感を明確に示す重要な役割を果たしてきている。日米事業がこの国際協力に重要な貢献をしてきたことは誇りとすべきことであろう。また、今後もいかなる形であるとしても日本はこの活動に支援を続けるべきである。

4. まとめ

- 1) 日米事業は、基礎科学のために日本が進めてきた国際共同研究事業としては、予算、人員、期間とも最大級であり、米国の加速器を利用する高エネルギー実験及び関連の研究開発において多くの成果を上げるとともに、国際的視野を持つ多くの若手研究者を育成し、日本における高エネルギー物理学の進展に多大な寄与をしてきたものであり、その歴史的役割は高く評価されるものである。
- 2) 日米事業の形態と運営の枠組みは、30年間にわたる実績があり、効果的に推進されてきたと言える。特に、研究資金の長期安定的、且つ柔軟な執行方式は、他の資金にはない特色を持っており、日米事業の推進・継続の基盤となってきたことを高く評価する。
- 3) 日米事業で蓄積された人的・物的資産は膨大であり、これを有効活用した研究課題を採択し、日米事業を継続してきたことは日米両国にとって非常に有意義であったと言える。
- 4) 日本に大型加速器が次々と建設され、国際的な研究拠点を形成してきた反面、米国の加速器がその役割を終えつつある現状では、当初の目標を見直すべき新しい段階を迎えていることは、既に関係者の間の共通認識となっており、新しい意義付けや方向性に関して、タスクフォースやワーキンググループでの検討など、様々な試みがなされている。
- 5) 実際の課題採択に当たっては、日本の研究施設を基盤とする研究に米国の研究者が参加する研究形態が増えており、日米事業の双方向性の実現という観点からも望ましい進展として評価できる。また、人工衛星を利用した宇宙線観測の研究を支援していることは、加速器中心の枠組みを拡大した試みとして評価できる。
- 6) 加速器関連の開発研究では、日米の研究施設、専門家の知識・技術が有効に活用されており、グローバルな研究テーマにおいても、日米事業の利点を存分に活用し、成果を上げている。但し、若手研究者の参加が非常に少ないことが憂慮されるところである。大学の研究分野に加速器研究がほとんどないことから、若手育成が簡単ではないことは十分承知しているが、具体的な取り組みを真剣に始める時期に来ている。日米事業はそれを推進する目標と活動の場を提供するのに適しており、加速器の総本山である **KEK** が中心になり、大学と共にその枠組みを早急に作ることは、高エネルギー物理学コミュニティの責務である。
- 7) 研究課題の個別評価を、5年に一度設置される評価委員会に委ねているが、個々の研究の終了時点で専門家による評価を行い、日米事業の成果として蓄積しておく必要がある。

5. 謝辞

本評価委員会報告書を作成するに当たり、会議の準備、資料の整理、原稿の校正等、様々な事務的支援をして下さった高エネルギー加速器研究機構研究協力部国際企画課の皆様にご挨拶申し上げます。

資料 1. 日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）第 6 次評価委員会委員名簿

(委員)

氏 名	所 属 ・ 職
井上研三	九州大学先端素粒子物理研究センター・学術研究員（特任教授）
今井憲一	日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターハドロン物理グループ・グループリーダー
熊谷教孝	高輝度光科学研究センター・専務理事
倉本義夫	東北大学大学院理学研究科・教授
鈴木洋一郎	東京大学宇宙線研究所・教授
野口誠之（委員長）	奈良女子大学・名誉教授
森 俊則	東京大学素粒子物理国際研究センター・教授

(事務局)

小林 隆	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・教授
------	----------------------------

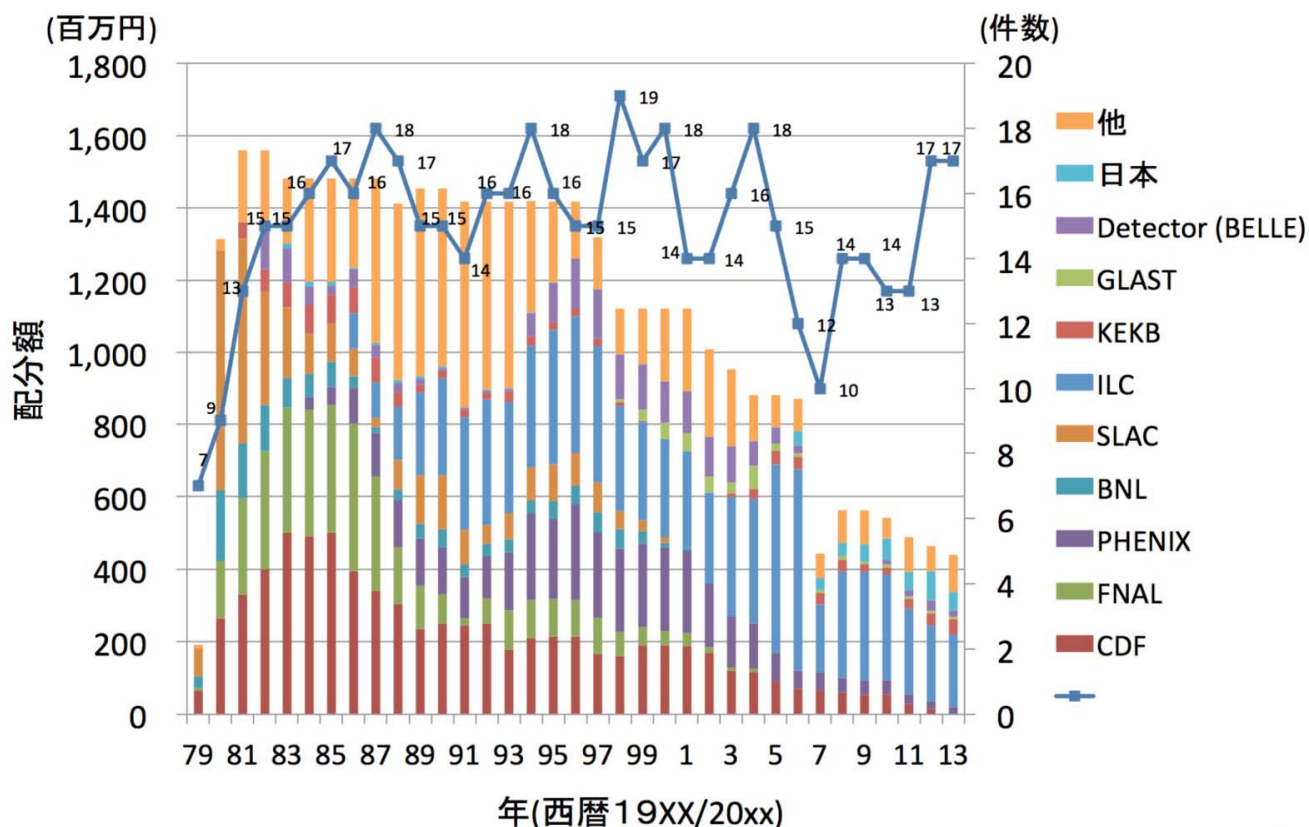
資料 2. 日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）第 6 次評価委員会開催状況

	開催日時	会場	議事内容
第 1 回	2013 年 10 月 21 日(月) 13:00～15:30	自然科学研究機構本部	日米事業に関する概要説明の後、評価方針、実施方法等について意見交換を行った。
第 2 回	2013 年 11 月 25 日(月) 10:30～17:15	高エネルギー加速器研究機構	評価対象課題について、課題代表者等から成果報告等のヒアリングを行った。
第 3 回	2014 年 1 月 8 日(水) 14:00～16:30	自然科学研究機構本部	評価報告書の原案を基に、評価内容について意見交換・修正を行うとともに、全体評価について議論を行った。
第 4 回	2014 年 2 月 12 日(水) 14:00～17:10	自然科学研究機構本部	評価報告書の原案を基に、全体評価も含めた内容について議論を行い、最終版に向けての取りまとめ作業を行った。

資料3 ; 評価対象課題一覧表

	実験課題名	実験代表者	事業期間
A1	陽子反陽子衝突による重い粒子の検出 (CDF)	受川史彦	1979-2012
A2	RHIC における高エネルギー重イオン衝突実験 (RHIC/PHENIX)	小沢恭一郎/江角晋一	1984-2013
A3	GLAST ガンマ線宇宙望遠鏡の開発	大杉節/深沢泰司	1998-2013
B	加速器技術の開発		
B1	先端加速器技術の開発	山口誠哉	2007-2011
B2	リニアコライダーを含む先端加速器技術開発研究	横谷馨/早野仁司	2008-2013
B3	最先端加速器ビーム制御に関する開発	浦川順治	2007-2009
B4	次世代高ルミノシティコライダーの研究	生出勝宣/飛山真理	2003-2013
B5	将来加速器に向けた高電界加速技術の開発	肥後壽泰	2008-2013
B6	SuperKEKB・ナノビーム衝突点用超伝導コイルの建設及び振動測定装置の開発	大内徳人	2012-2013
C	測定器開発		
C1	長基線ニュートリノ実験のための基礎データ収集及び測定器開発	中家剛	2006-2008
C2	ミューオン電子転換探索実験実現のための新展開	青木正治	2007-2010
C3	KL $\rightarrow\pi^0\nu\nu$ 実験のための測定器及びビームライン開発研究	小松原健	2006-2011
C4	J-PARC での中性中間子稀崩壊実験	小松原健	2012-2013
C5	SOI 技術を用いた先進的ピクセルセンサーの開発	新井康夫	2008-2011
C6	SOI 技術を用いた先進的ピクセル検出器の開発	新井康夫	2012-2013
C7	J-PARC におけるミューオン $g-2$ の精密測定のための開発研究	斉藤直人	2008-2010
C8	高エネルギー物理学のための超伝導カメラ開発	羽澄昌史	2009
C9	POLARBEAR-II による宇宙マイクロ波背景放射偏光観測	羽澄昌史	2012-2013
C10	高輝度電子・陽電子衝突型加速器で使用する PID 検出器の開発	飯嶋徹	2010-2013
C11	先端高強度ミューオン源とミューオン素粒子物理学の展開	久野良孝	2011-2013
C12	次世代実験のための新 GEANT4 カーネルの開発	佐々木節	2011-2013
C13	J-PARC MLF 大立体角パルスミュオンビームラインを用いたミュオン基礎物理の発展	三部勉	2012-2013
C14	ニュートリノ崩壊探索実験	金信弘	2012-2013
C15	BelleII データ再生プロセス高度化のためのリモートデータセンターの設立	原隆宣	2012-2013
D	素粒子データグループ		
D1	素粒子データに関する研究	日笠健一	1979-2013

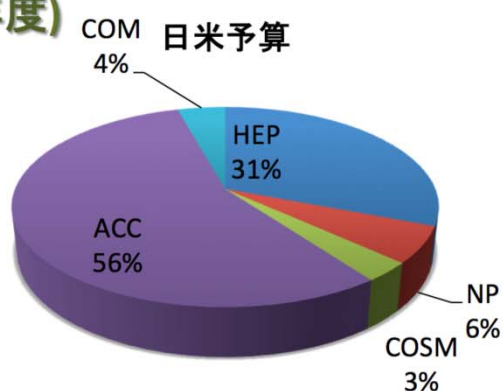
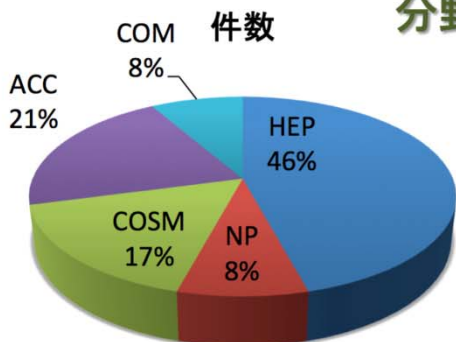
資料4；年度別採択件数及び配分額の推移



資料5；日米科学技術協力事業高エネルギー物理研究計画委員会名簿

氏名	所属・職	※役職指定
岡田 安弘	高エネルギー加速器研究機構国際協力・連携事業担当理事	※
山内 正則	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・所長	※
生出 勝宣	高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設・施設長	※
徳宿 克夫	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・副所長	※
小林 隆	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授	
宇野 彰二	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授	
小関 忠	高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設・教授	
小林 富雄	東京大学素粒子物理国際研究センター・教授	
中畑 雅行	東京大学宇宙線研究所・教授	
中家 剛	京都大学大学院理学研究科・教授	
川越 清以	九州大学大学院理学研究院・教授 九州大学先端素粒子物理研究センター・センター長	
清家孝行	高エネルギー加速器研究機構・管理局長	※

分野別 (2012年度)



状態別 (2012年度)

