

物理学の最前線、
ここにあり

2021
東京大学
素粒子物理国際研究センター

INTERNATIONAL CENTER FOR ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS,
THE UNIVERSITY OF TOKYO

01 DIRECTOR'S MESSAGE

「サイエンス百年の計」で
真理と未来への扉を開く

02 AGAINST COVID-19

コロナ禍を経て、研究は新天地へ——
2020年の研究記録を振り返る

05 ICEPP x AI&QC

なぜ素粒子実験に、
AIと量子コンピューティングが
必要とされるのか

06 HISTORY AND TREND

素粒子物理学の“今”を読み解く

08 COLLABORATION

国際共同研究で、
新たな物理学の地平を目指す

10 ATLAS EXPERIMENT

微細な素粒子をとらえる
高精細な目

12 MEG EXPERIMENT

電子の仲間「 μ 粒子」が、
新理論の手掛かりを握る

14 ILC PROJECT

素粒子の振る舞いを、
より細やかにとらえる

16 TABLETOP EXPERIMENT

「光」の技術で「真空」の
本質に迫る

18 ICEPP UTOKYO

教育・組織概要

21 LAB GALLERY

ラボ風景

STAFF

編集ディレクション… 萱原正嗣(チーム・バスカル)
取材・文… 中村俊宏、萱原正嗣(チーム・バスカル)
撮影… 貝塚純一
アートディレクション… 細山田光宣
デザイン… 横山 曜(細山田デザイン事務所)
イラストレーション… 秋本祐希(マブチデザインオフィス)
協力… 東京大学大学院理学系研究科・広報室

物理学は

新たな時代へ—

「サイエンス百年の計」で 真理と未来への 扉を開く

東京大学素粒子物理国際研究センター長

浅井祥仁

SHOJI ASAI



素 粒子物理学は、物質や宇宙の成り立ちに迫る基礎科学です。小さな粒子を見るには大型の高エネルギー加速器が必要で、実験プロジェクトは大型化しています。それに対し、「社会の役に立つのか」と質問を寄せられます。多大な社会資源をつぎ込んで、どんな果実を社会にもたらすのか、と問われているのでしょうか。

この質問に、私はこう答えるようにしています。5年や10年の短期間で、すぐに社会に役立つ何かをもたらすことはできません。ただ、私たちが取り組んでいるのは、「自分を取り巻く世界を知りたい」という人間の知的欲求を満たすための研究です。その価値を、どうかご理解いただきたい。

また、すぐには役立つこの研究も、歴史を振り返れば、産業の基盤を成し、社会に大きな恩恵をもたらしています。物質の根源を探る研究から、電子の存在が100年前に明らかになり、エレクトロニクス(電子工学)産業が発展しました。X線や重粒子は医療で当たり前のように使われています。現代社会のインフラとなったインターネットのウェブ技術も、素粒子研究の総本山と言えるCERNで開発されたツールです。

大規模物理実験は、研究開発中の先端技術を導入するモデルケースにもなっています。基礎科学の研究から新たな技術が生まれ、基礎科学の発展のために、最先端の技術が積極的に導入される。素粒子物理学は、基礎科学であると同時に、「総合科学」であると言えます。

とはいえ、私たちがいま取り組む研究が、生活に役立つようになるには50年、100年の時間が必要になるかもしれません。言うなれば基礎科学は、未来世代に向けた長期の投資です。「サイエンス百年の計」で、基礎科学へのご理解とご支援をいただけますと幸いです。

とかく基礎科学の分野では、先人たちが積み上げてきた蓄積が大きな意味を持ちます。2017年4月のセンター長就任以来、その蓄積を受け継ぎ、次代に受け渡すべく、これまでのセンターの歩みを踏まえて前に進んでいく所存です。

次代を担うのは、これから研究を始める学生のみなさんです。物理学の新時代を切り拓くべく、意欲と好奇心に満ちた学生の挑戦を歓迎します。「サイエンス百年の計」は、若き研究者の未来のためにも大きな意味を持つのです。



AGAINST COVID-19

コロナ禍を経て、研究は新天地へ——

2020年の研究記録を振り返る

新型コロナウイルスのパンデミックにより、世界は未曾有の危機に直面している。素粒子物理実験も例外ではない。海外の研究拠点を軸とした国際共同実験であるがゆえに、国境封鎖や研究活動制限の影響は当然大きかった。しかし、研究の遠隔化や自動化を試行錯誤するなかで、研究の新たな進め方が見えてきた。

ATLAS 実験

ス イスのジュネーブにあるCERN（欧州合同原子核研究機構）のLHC（大型ハドロン衝突型加速器、p3コラム参照）は、2020年の年初は運転停止中で、2021年からの第3期実験（Run3）に向けて加速器の増強計画が進んでいた。ATLAS実験（p10参照）でも、Run3のために検出器のアップグレードが現地で行われていた。

2020.FEB. - MAR.

スイスで初の感染者が確認されたのは2月25日。3月に入ると感染者が一気に増加した。隣国フランスの状況も急速に悪化するなかで、3月15日にCERN全体をロックダウンする方針を決定。翌日、ATLAS実験グループが地下実験施設の電源を全

て落とす作業を行なうと、3月20日にCERNがロックダウンし、構内から人が消えた。

国境封鎖が目前に迫り、現地にいた教員・学生5名は日本へ急遽帰国の途へ。地上で稼働するコンピュータのメンテナンス等に携わる教員4名だけが現地に残ることとなった。

2020.APR. - MAY

CERNのロックダウンが続くなか、研究者たちは電子機器を動かすソフトウェアの開発や、取得済みデータの解析などをリモートで進めることができた。また中止になった3月の国際会議の代わりに、Zoomを使ったCERN主催のウェビナーが4月に開催、研究成果を発表することもできた。

欧州の感染状況が沈静化してきた5月5日、CERNの活動再開に向けた「新しい健康安全対策」が示された。感染対策徹底を条件に、5月18日か

ら少しずつ入構再開。ATLASの実験機器にも電源が投入され、活動正常化に向けて動き始めた。

2020.JUN. - OCT.

入構人数の制限のため、現場での機器接続作業やトラブル対応などが遅れがちだったが、遅れをリカバリーしながら作業や研究を進めていく。

ATLASの各国チームで製作している検出器の統合テスト「Milestone Week」も実施された。本来は研究者たちがATLASのコントロールルームに集まって行なうが、5月に実施された第1回テストは日本の各大学からリモートで参加。6月の第2回テストからは、日本チームがKEK（高エネルギー加速器研究機構）に集まり、リモート参加できる体制を整えた。日本チーム内での情報共有がスムーズになり、各種機器の開発・コミショニングが効率よく進んでいった。

7月に入ると、東大の活動制限指針がレベル0.5（一部制限）に引き下げられ、教員3名・学生1名が段階的に現地へ赴き、作業を行なえるようになる。10月19日の第4回テスト時に、CERNはようやく正常運転モードに復帰。23日には、Run3を2022年2月以降に始めることが正式決定された。

2020.NOV. - PRESENT

欧州での感染第2波の影響で、一般的な研究者はCERN入構が週2日に制限されることに。活動制限が続くなか、Run3開始に間に合わせるべく、現地作業とリモート研究を並行し、新型検出器の接続試験やシステム改良を急ピッチで進めている。

MEG 実験

ス イス・チューリッヒ郊外のPSI（ポール・シェラー研究所）で行なわれているMEG実験（p12参照）。現在は、第2期実験（MEG II）に向けて準備を進めている。実験に使われるPSIの加速器は、2020年年初から4月初めまでの予定でシャットダウンされていた。

2020.MAR. - APR.

スイスでの感染が急速に広まり、3月16日にスイス連邦政府は「異常事態」を宣言。国境管理などの厳格な対策を講じることを発表する。同日、PSIは研究所内での活動制限を「レベル3」とし、所内で活動できる従業員数を通常の15~20%以内

巨大加速器がもたらすものとは

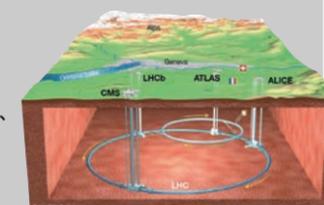
素粒子物理学の歩みは、加速器技術の進展とともにあった。加速器とは、粒子を加速させて運動エネルギーを高める装置のこと。高いエネルギーを持った粒子を衝突させれば、大きな質量を持った粒子が生まれてくる。1930年代ごろから、素粒子の研究に加速器が使われるようになった。微細な粒子を「見る」には、より高いエネルギーが必要で、加速器は次第に大型化していった。加速器は「巨大な顕微鏡」ともたとえられる。ヒッグス粒子発見の舞台となったCERNの円形加速器LHCは、全周約27 kmと世界最大を誇る。LHCでは、複合粒子である陽子を時計回りと反時計回りに、それぞれ光速近くまで加速して正面衝突させ、世界最高エネルギーを実現している。LHCは2027年を目標に、粒子の衝突輝度を高めるHL-LHC（高輝度LHC）にアップグレードされる。

LHCでつくり出される高エネルギー状態は、138億年前の宇宙誕生時に起きたビッグバン直後の状態に近

いと考えられている。宇宙誕生から約1兆分の1秒後の世界を再現し、現在の宇宙ではほとんど見られない粒子や状態を観測することができる。それを検出するのが、ATLASやCMSなど、LHCに設置された検出器だ。LHCでつくられたヒッグス粒子を、ATLASとCMSで検出して世紀の発見に至った。

LHCの次を見据えた動きもある。全周約100 km、衝突エネルギーはLHCの約7倍のFCC（未来型円形衝突型加速器）の議論が、2040年ごろの運転開始を目標に進んでいるのだ。高エネルギー加速器は、新物理開拓の最有力手段である。

LHC全景イメージ図。4つの巨大な検出器ATLAS、CMS、ALICE、LHCbが、衝突によって生まれた粒子をとらえる。





と決めた。これにより、シャットダウン中の加速器のメンテナンス作業は約2ヶ月中断することに。

しかし、MEG実験グループの対応は早かった。学生2名を帰国させ、教員2名が検出器の非常時対応に留まった。次に、日本・スイス・イタリアの責任者3名が調整を図り、PSIのロックダウンと停電の可能性を考え、実験に必須で高価な900リットルの液体キセノンを全てガス化し高圧ガスタンクに回収することを決定。PSIから特別に許可を得て、約20日間かけて回収。4月半ばには教員1名も帰国し、残った教員1名が現地対応を続けた。

2020.MAY. - AUG.

5月11日からPSIの活動制限が「レベル2」に緩和、40～50%の従業員の入構が許され、加速器のメンテナンス作業も再開した。だが実際は、現地の教員が検出器メンテナンスのための月1回入構したのみ。コロナ禍前より、ウェブによる実験装置の遠隔運転やモニター、計算機資源の共有など、共同研究のリモート体制を確立しており、教員・学生は前年度の取得データを使い、解析や

シミュレーションなどを行なった。研究の進捗状況の確認や情報交換には、ZoomやSlackなどのツールが用いられた。

7月初旬に加速器のメンテナンスが終了、7月20日から、加速器のビームを使った研究が、PSI所属の研究者にのみ許された。ただ、ガス化したキセノンを液体に戻す作業などは7月下旬以降、PSIから特別な許可を得て順次進めることができた。

2020.SEP. - PRESENT

9月1日より、外部ユーザーもPSIへ入構できるようになり、MEG実験グループも加速器のビームを使った検出器試験の再開に向けて準備を進めることに。教員に続いて学生らも、PSIから招聘レターを大学に出してもらい、特別な許可を得てPSIへ向かった。

10月初旬、いよいよビームを使った検出器の試験を開始。年初時点での予定より4カ月遅れとなった。試験データ取得時のシフト要員2名のうち1名は現地、1名はリモートの体制とし、さらに夜中は2名ともリモート対応とした。夜中のリモートシフトは、時差を活用し、その国では日中となる研究者に入ってもらうように調整した。

11月以降、感染第2波の影響で、PSIでは再び活動制限レベルが引き上げられた。但し、ビームを使った実験を行なう場合は外部ユーザーも許可されたため、MEG実験グループは試験を継続している。今春ようやく揃った全チャンネルの電子回路を実装し、今年中の実験開始を目指す。

物理解析の一翼を担うATLAS地域解析センター

「ATLAS地域解析センター」は、本学に設置されたATLAS実験のデータ解析拠点だ。CERNの計算機センターを頂点(Tier 0)に、世界150以上の研究機関のシステムが階層構造で配備された「WLCG(世界LHC計算グリッド)」の一部を担う。その計算機資源は、Tier 2と呼ばれる階層で世界最大規模を誇り、ATLAS実験の全メンバーに開放されている。

地域解析センターは2007年1月に稼働し、年間稼働時間は約8,700時間に上る。これまで処理された解析ジョブ数は、WLCG全体で10位の座を占め、ヒッグス

粒子発見につながるデータ解析への貢献も認められている。2019年度の実績で、国内の研究機関に所属する利用者は120名、外国の研究機関に所属する利用者は800名に及ぶ。



なぜ素粒子実験に、 AIと量子コンピューティングが 必要とされるのか

AI(人工知能)

A Iという言葉は多義的に使われますが、素粒子実験に深く関わるAIは、そのなかの「機械学習」を指しています。すなわち、大量のデータのなかからルールやパターンを自動的に発見する技術です。たとえば検出器内では、光速近くまで加速した大量の粒子同士が衝突し、さまざまな粒子が大量に生成されます。そのなかから未知の新粒子を見つけ出すには、シグナル(新粒子生成に関わる信号)とノイズを効率的かつ精度よく区別しなければなりません。こうした解析の用途に、機械学習が広く使われています。

この機械学習の技術は、素粒子実験では昔から研究・利用されてきました。大量のデータを使って新たな知見を得る点、数学がバックグラウンドにある点、データの信頼性や理解度が高い点など、素粒子実験と機械学習は「相性が良い」と言えるでしょう。最近流行のディープラーニング(深層学習)も、現場で使われ始めています。

2020年には、東京大学とソフトバンクが世界最高レベルのAI研究拠点として「Beyond AI 研究推進機構」を設立し、7月30日より共同研究が本格的に始まっています。本センターもこの研究に参画し、さまざまな素粒子実験テーマに、AIを活用する研究に取り組んでいます。

そこでの本センターの研究テーマは、「複合AIによる問題解決手法」です。現在は、さまざまな解析問題を個々のAIに対応させていますが、複合AIではその全体を高次のAIで解析し、調和させることが目標です。素粒子分野での活用のみにとられず、既存のAIの適用範囲を超えることも目指しています。



齊藤真彦 特任助教

2016年3月東京大学大学院理学系研究科物理学専攻(浅井研究室)修士課程修了、19年7月同博士課程修了。同年8月より現職。

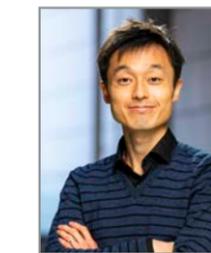
量子コンピューティング

2 019年10月、Googleの研究チームが「量子超越」に成功したと発表しました。量子コンピュータが古典コンピュータよりも圧倒的に速く計算できることを実証したのです。この画期的な成果は、世界中の関心を集めました。

実用的な量子コンピュータの誕生までには、もう10年や20年かかるでしょう。それが登場したときに、いかに量子計算技術を「使う」のかを主眼に置き、本センターでは量子コンピューティングの研究に取り組んでいます。量子計算技術を機械学習に応用する「量子機械学習」は、その好例です。また、大量の変数を同時に扱える量子コンピュータの特徴を、高次元の確率分布の計算を用いた高エネルギー素粒子反応過程のシミュレーションに適用する研究なども進めています。

CERNのLHCの能力増強計画や新たな加速器計画においては、生成される粒子の数が増え、各種計算量が膨大になる「計算爆発」が起こることが確実です。まずはその解決策として、量子コンピュータの活用が期待されています。

2019年12月に、東京大学とIBMは、量子コンピューティング研究のパートナーシップ締結を発表しました。IBMの量子コンピュータ2機が日本に設置され、1機は大学キャンパス内に置かれて研究が進められています。さらに2020年7月には、大学全学レベルで、量子コンピュータに関する知見を産官学で共有して実用化を進める「量子イノベーションイニシアティブ協議会(QII協議会)」の設立も発表しました。こうした東大全学での取り組みにも本センターは参画し、研究推進の一翼を担っています。



飯山悠太郎 助教

2015年2月米国カーネギーメロン大学物理学専攻博士課程修了、同年3月米国マサチューセッツ工科大学核科学研究所博士研究員。18年9月よりCERNフェロー。20年4月より現職。

素粒子物理学の“今”を読み解く

微細な素粒子の世界を切り拓いてきたのは、100年以上にわたる物理学者たちの絶えざる営みだ。素粒子物理学の“今”に至るまでの道のりと、“今”の素粒子物理学が取り組む最前線のテーマを読み解く。

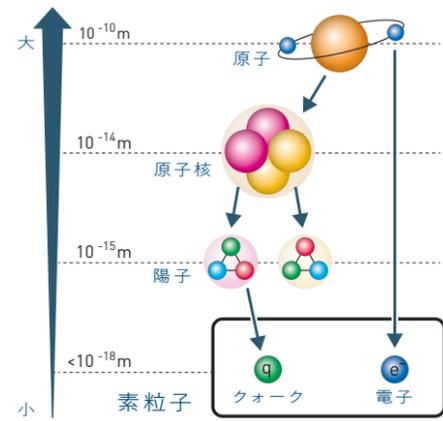
1 原子は素粒子でできている

原子の内部構造

物質の最小単位は「原子」ではない。そのことが分かったのは、20世紀の幕開けを目前に控えた1897年のことだ。「電子」の存在が発見され、原子に内部構造があることが明らかになった。1911年には、「原子核」が発見され、その周りを電子が回っていることが突き止められた。

物理学者の探求は、原子核そのものへと向かう。1919年に「陽子」が、1932年には「中性子」が発見され、原子核が陽子と中性子によってできていることが解き明かされた。

だが、その後の宇宙観測技術や加速器（p3コラム参照）実験技術の発達により、より小さな粒子が存在することが徐々に明らかになる。1964年、「陽子」や「中性子」を構成する「クォーク」という「素粒子」の存在が予言され、1969年にはアメリカの加速器実験で「クォーク」が存在する証拠が検出された。



こうした研究の積み重ねにより、物質の最小単位としての「素粒子」の正体が明らかになった。なお、「電子」も素粒子のひとつである。

2 20世紀の物理学の到達点

標準理論とは何か

標準理論とは、現代素粒子物理学の基本的な枠組みのことだ。1970年代半ばに体系化され、「20世紀の物理学の到達点」とも言われるこの理論には、17の素粒子が登場する。

当初、「クォーク」は3つの種類があると考えられていたが、1973年には6種類のクォークの存在が予言された（小林・益川理論）。同様に、電子の仲間である「レプトン」も6種類あるとされ、すべて20世紀のうちに発見された。

自然界には物質と物質の間に力が働き、そうした力も素粒子が媒介すると考えられている。電荷を持つ素粒子どうしに働く「電磁気力」は、「光子（フォトン）」が伝える。電気や磁石の力を生み、原子核と電子を結びつける「光子」の存在は、20世紀はじめから知られていた。

クォークが陽子や中性子を構成し、陽子や中性子が原子核にまとまるのは、「強い力」が働くからだ。その力は、「グルーオン」が媒介する。クォークやレプトンに作用し、原子核の崩壊現象を引き起こす「弱い力」は、2種類の「ウィークボソン」によって伝達される。これら2つの力は、1970年代から80年代にかけて存在が突き止められた。なお、日常生活で身近な「重力」



も同様に「重力子」によって媒介されると考えられるが、重力は素粒子の世界では弱すぎて無視できるとして、標準理論では扱われていない。

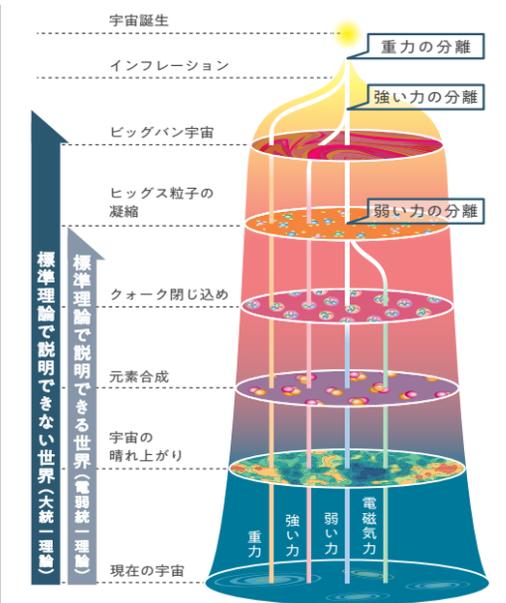
1964年に質量の起源と予言されたヒッグス粒子は、標準理論のなかでも特殊な素粒子だ。2012年の発見で標準理論の最後のピースは埋まったかに見えた。

3 標準理論が直面するいくつかの限界

標準理論の限界

標準理論は、早くから限界も指摘されてきた。そのひとつが、既に見たように「重力」を扱えないことだ。現代の物理学では、「重力」、「電磁気力」、「強い力」と「弱い力」の4つの力を統一的に説明する究極の理論の構築を目指している。138億年前の原初宇宙では、ただ1つの力が存在し、時間とともに4つの力に分岐したのではないかと考えられている。その謎を解く鍵を素粒子が握っているとされるが、「重力」は標準理論の射程外とされているだけでなく、「重力」以外の3つの力を統一する理論（大統一理論）もまだ完成していない。

もうひとつの限界は、宇宙に存在すると考えられる物質やエネルギーのうち、標準理論で説明可能なのはわずか5%にすぎないことだ。天文観測技術の発達により、宇宙には目に見えない（光を発しない）大量の謎の物質「暗黒物質（ダークマター）」が存在することが1960年代半ばに明らかになった。さらに1998年には、宇宙が現在、加速膨張していることが突き止められたが、その理由が解明されておらず、正体不明のエネルギー「暗黒エネルギー（ダークエネルギー）」の存在が指摘されている。それぞれ、宇宙の27%と68%を占めるとされる。



さらに、LHCで発見されたヒッグス粒子の質量が、大統一理論や究極の理論のエネルギースケールに比べてはるかに軽いという謎がある。さまざまな点で、標準理論を超える理論が求められている。

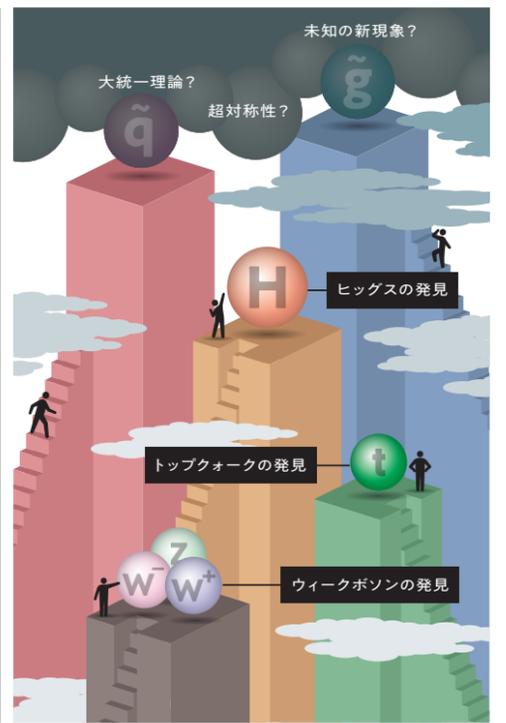
4 標準理論を超える究極の理論とは

標準理論を超えて

素粒子物理学は、標準理論を拡張する新たな理論の構築と、それを証明する観測や実験に挑み始めている。研究者たちの期待を集めているのが、「超対称大統一理論」だ。この理論では、標準理論に登場する17の粒子に加え、各粒子に対してパートナーとなる粒子「超対称性粒子」の存在を予言している。

もっとも軽い「超対称性粒子」は「暗黒物質（ダークマター）」の候補であり、ヒッグス粒子の質量の軽さを自然に説明することもできる。重力を除く3つの力を統一的に理解する「力の大統一」も可能になる。研究者たちが次に狙うのは、「超対称性粒子」の発見であり、「超対称大統一理論」を実証する現象の捕捉だ。東京大学素粒子物理国際研究センターが力を入れて取り組む実験も、そのためのものだ。

さらに、厄介な「重力」をも統合する究極の理論も提唱されている。それが、素粒子を振動する「ひも」ととらえる「超ひも理論（超弦理論）」だ。この理論を実証する実験方法ははまだ考え出されていないが、素粒子物理学の歴史は、先人たちの予言を実証する実験技術の発展の歴史でもある。素粒子物理学がその地平に辿り着く日も、そう遠くはないかもしれない。



素粒子物理国際

研究センターの 取り組み

本センターは、国内外の研究機関と協力し、素粒子物理学の国際共同実験を行なっています。主な取り組みは、右に挙げたATLAS実験、MEG実験、ILC計画と、Tabletop実験の4つの実験・計画です（Tabletop実験は主に国内での研究です）。

本センターの歴史は、1974年まで遡ることができます（下図参照）。小柴昌俊先生が前身組織である理学部附属高エネルギー物理学実験施設を創設されてから40年以上、研究の卓越性を追求し続けています。

その後、世界最高エネルギーの加速器を用いた国際共同実験を展開するため、5度の改組を経て現在に至ります。1994年には理学部を離れて大学直轄の全国共同利用センターとなり、2010年には文部科学省から「共同利用・共同研究拠点」の認定を受けました。2016年には認定が更新されて新たな6ヶ年が始動し、国内外の研究機関・研究者との連携をなおいっそう強めるとともに、拠点機能の拡充に努めています。

ATLAS 実験

ATLAS実験は、スイスのジュネーブ市郊外、スイスとフランスの国境に位置するCERN（欧州合同原子核研究機構）で行なわれている国際共同実験です。

CERNは、素粒子物理学の研究のため、1954年に欧州各国の共同出資で設立されました。世界の素粒子物理学研究者の半数以上（約1万人）が訪れ、世界最高水準の研究が進められています。本センターも1980年代から共同実験に参加しています（下図参照）。CERNには、世界最高の衝突エネルギーを誇る円形加速器LHC（大型ハドロン衝突型加速器）があります。2012年7月には、ここでヒッグス粒子が発見され、本センターが参加するATLAS実験も大きく貢献しています。

LHCは第2期運転までを終え、第3期・高輝度化に向けた研究が進んでいます。



欧州合同原子核研究機構 (CERN) ©CERN

MEG 実験

MEG実験では、「標準理論」を超える「超対称大統一理論」を検証します。電子の仲間の「 μ 粒子」が引き起こす非常に稀な現象の観測を目指しています。2008年から、スイス・チューリッヒ郊外のPSI（ポールシェラー研究所）で実験を行なっています。PSIは、 μ 粒子や中性子の生成装置、自由電子レーザーや放射光施設など、独自の研究設備を保有しています。

MEG実験は、本センターの研究者が中心になって設計・提案し、イタリア、スイス、アメリカ、ロシアの研究者たちと取り組んでいます。2013年夏に第1期実験を終え、結果を2016年3月の国際会議で発表しました。観測感度を1桁高める第2期実験（MEG II）に向けて測定器のアップデートを行ない、本格的なデータ取得開始の準備を進めています。



ポールシェラー研究所 (PSI) ©PSI

ILC 計画

ILC計画は、次世代の加速器建設プロジェクトです。アジア・欧州・北米の研究者たちが共同し、2030年代後半の稼働を目指して検討・準備が進められています。ILCは、CERNのLHCと異なる線形の加速器で、このタイプで世界最高エネルギーとなる予定です。加速器の性質上、LHCより高精度の実験が可能となるため、ヒッグス粒子の詳細な性質の解明が進み、新物理の手掛かりが得られると期待されています。

ILCの建設は、日本の北上山地が有力候補地に挙がっています。計画が実現すれば、日本の素粒子物理学研究はもとより、関連する科学技術産業や周辺自治体にも大きな波及効果が出ます。本学・本センターの研究者たちが計画検討組織の要職に就任し、精力的に活動しています。



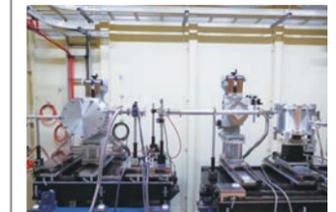
ILC 完成予想図 ©Rey.Hori

TABLETOP 実験

Tabletop実験では、大型加速器を使わずに、低エネルギーでも独創的なアイデアと多彩な実験手法を駆使して隠れた素粒子現象を探ります。目指すは「真空」の複雑な構造の解明です。

実験の鍵は2つあり、ひとつは「光」の技術の活用です。X線、可視光、赤外線レーザーや電波、ミリ波光源など、多様な光を組み合わせることで実験を行ない、真空の歪みの検出を目指します。

もうひとつは、電子と陽電子のペアからなる粒子「ポジトロニウム」です。この粒子のなかには光や真空と似た性質を持つものがあり、それらの違いを精密に調べ、真空の性質を明らかにします。



Tabletop実験の実験装置のひとつ



微細な素粒子をとらえる

高精細な眼

A TLASとは、CERNのLHC加速器を用いて行なわれている実験プロジェクトであり、素粒子を探索する検出器の名称でもあります。ATLAS検出器は、全長46m・直径25m・重さ約7,000トン、1.1億チャンネルのセンサーが組み込まれた巨大な精密測定装置で、ヒッグス粒子を発見した2台の検出器のうちのひとつです。

LHCは、陽子を世界最高エネルギーまで加速して衝突させ、素粒子現象を実験的に観測するための円形衝突型加速器です（p3参照）。陽子同士の衝突エネルギーは、ヒッグス粒子発見時（2012年）で8 TeV（テラ電子ボルト）。当時すでに世界最高でしたが、2015-18年までの第2期実験（Run2）では、設計値に迫る13 TeVでの運転を達成しました。Run2に合わせてアップグレードしたATLAS検出器も高効率で稼働し続け、Run2を通じて約1.5京回の陽子衝突に相当するデータを蓄積しました。そのデータ解析により、ヒッグス粒子とトップクォーク・ボトムクォークの相互作用の観測に成功しました。これは、物質の質量起源の解明につながるものです。

現在、LHCは2019-21年の運転停止期間に入り、2022-24年の第3期実験（Run3）に向けて加速器の増強計画が進行中です。ATLAS検出器でも、ミュオン検出器やトリガーアルゴリズム、エレクトロニクスの刷新などが進められています。Run3では、超対称性粒子、暗黒物質（ダークマター）の候補となる素粒子の探索など、宇宙誕生の謎を解明する新発見を目指しています。

ATLAS実験は、世界40ヶ国から180の大学・研究機関が参加する国際共同研究プロジェクトです。約1,200人の大学院生を含む約3,000人の研究者が携わり、ヒッグス粒子の精密測定や「標準理論」を超える新物理の探索に力を注いでいます。日本

の14の大学・研究機関からも、研究者・学生およそ180名が参加し、「ATLAS日本グループ」として海外の一流の研究者たちと肩を並べ、最先端の研究を進めています。そのうち30名ほどの研究者・学生が本センターから参加しています。

「ATLAS日本グループ」は、1994年の発足以来、実験の中心的役割を担っています。検出器の立案設計に関わったほか、日本企業の協力のもと、超伝導ソレノイド、シリコン飛跡検出器、ミュオン検出器などを建設してきました。また、2009年からの本格的な衝突実験データ取得に合わせ、本センターに「ATLAS地域解析センター」（p4参照）を構築し、物理解析を推進してきました。ヒッグス粒子発見における日本の物理解析チームの貢献は、世界的に高く評価されています。

Run3の立ち上げと並行して、2027年開始予定の高輝度LHC実験の準備も進めています。高輝度LHCでは陽子衝突頻度を現在の約3倍に高めると同時に、ATLAS検出器や計算機システムの性能を大きく向上させます。本センターは、高速・高効率・高精度を実現する新しいトリガーエレクトロニクスや、人工知能・量子コンピュータ技術の開拓による次世代コンピューティングモデルの開拓に挑戦しています。



石野雅也 教授

- ATLAS実験 運転総責任者 (2017-18年)
- ミュオントリガーアップグレード責任者
- ATLAS実験執行委員会メンバー

略歴
2000年 博士(理学)
2001年 東京大学素粒子物理国際研究センター助手
2009年 高エネルギー加速器研究機構(KEK) 素粒子原子核研究所准教授
2011年 京都大学大学院理学研究科准教授
2016年 東京大学素粒子物理国際研究センター教授

研究開発

新粒子の発見を目指す

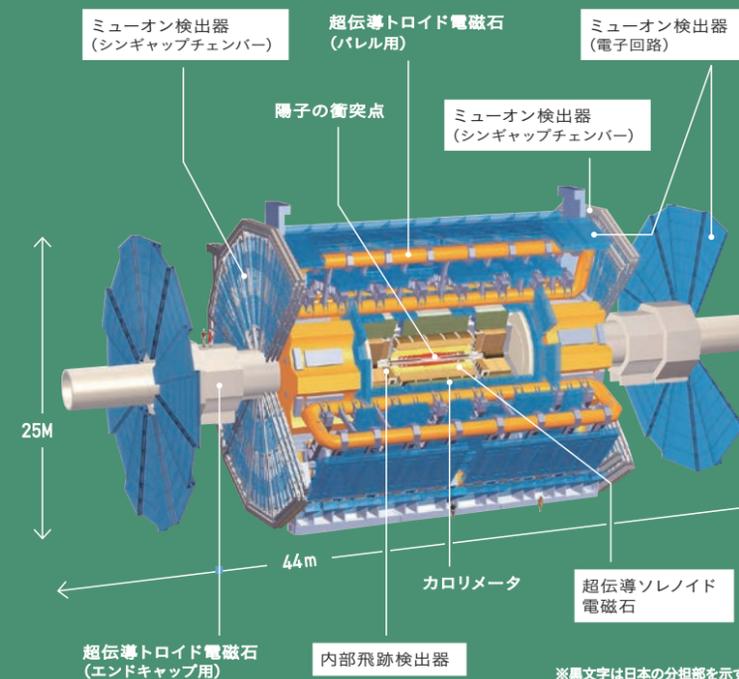
ATLASの仕掛け

LHCでは、ATLAS検出器中央で陽子同士を1秒間に10億回以上衝突させる。これだけ多く陽子を衝突させても、ヒッグス粒子が生成されるのはせいぜい数秒に1個程度である。ATLAS検出器とコンピューターシステムを連動・協力させて、これらの稀にしか起こらない新粒子を逃さずに捉えようとしている。

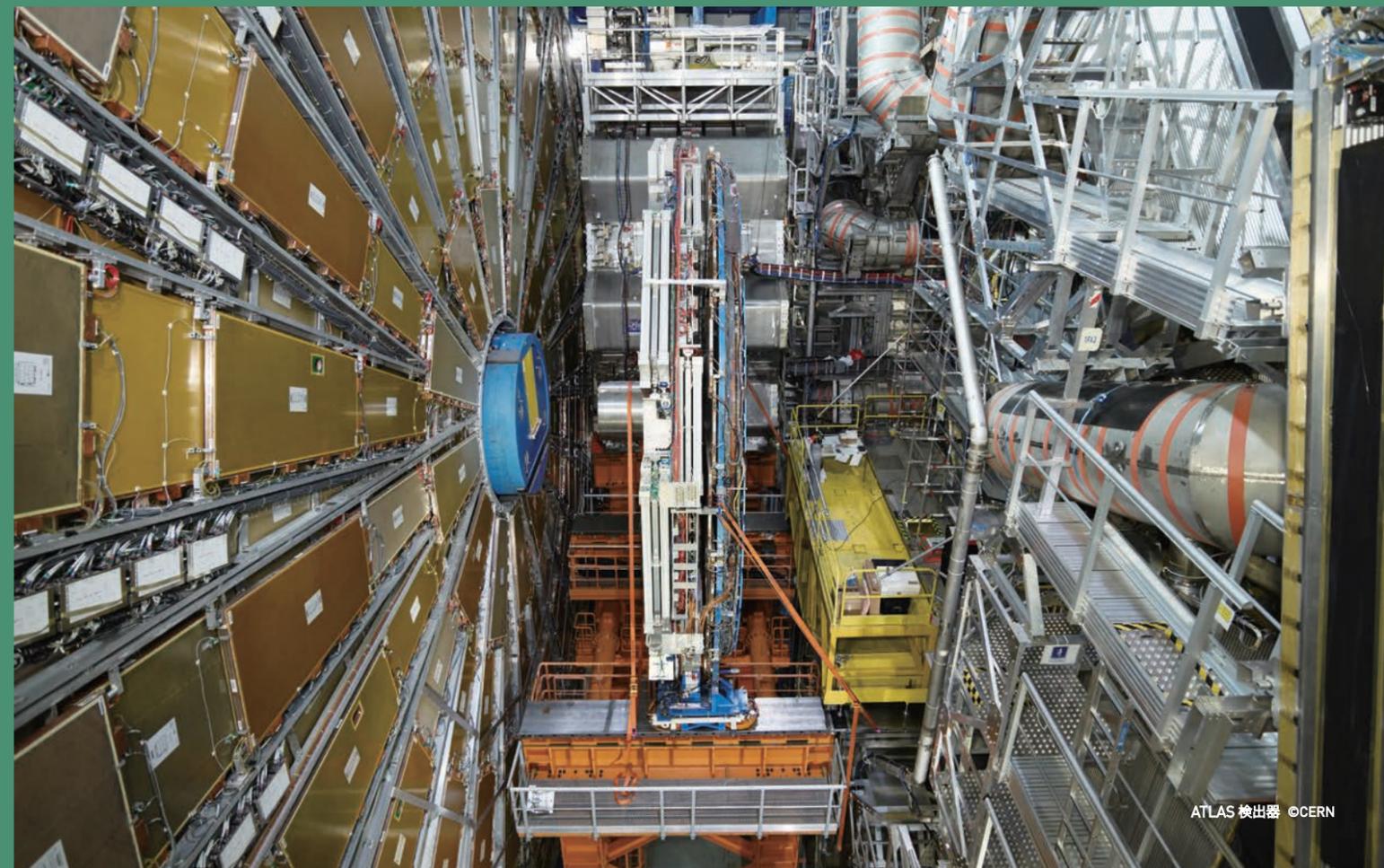
ATLAS検出器は大きく8つの検出器からなる（右図参照）。黒い文字で記した箇所が、日本チームが建設し、運転を担っている箇所だ。なかでもミュオン検出器（シンギャップチェンバー/電子回路）は、石野教授が中心になって日本とイスラエルが共同開発した。ミュオンはヒッグス粒子が崩壊する際に放出され、その検出がヒッグス粒子発見の手掛かりのひとつとなる。超対称性粒子をはじめとする新粒子探索においても、ミュオンは重要な手掛かりであり、ミュオン検出器の性能向上が、新物理の開拓につながっていく。

Run3と続く高輝度LHC実験では、LHCを増強して陽子の衝突頻度をさらに高める。新物理の兆候を見つけ出すため、検出器とコンピューターシステムの役割はますます大きくなる。

ATLAS 検出器概要



※黒文字は日本の分担部を示す



LHC



LHCは地下100mのトンネル内にある。ここで生まれる高エネルギー状態は、宇宙誕生直後に起きたビッグバンに匹敵する。

電子の仲間「 μ 粒子」が、 新理論の手掛かりを握る

MEG実験とは、電子の仲間である「 μ 粒子」が、 γ 線を放出しながら電子に崩壊する「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」という事象を観測するための実験プロジェクトです。「 μ 粒子」とは、電子と性質がほぼ同じで電子の200倍の質量を持つ「荷電レプトン」に属する素粒子のことで（右ページ参照）。

「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」は、「標準理論」では起こりえないと考えられていますが、宇宙や素粒子に働く力をより包括的に説明する「超対称大統一理論」(p7参照)では、数千億～数十兆回に1回程度という非常に小さい確率で起こることが予想されています。その観測に成功すれば超対称大統一理論の実証につながりますし、それが観測されなければ超対称大統一理論の見直しを迫ることになります。いずれにしても、素粒子物理学の新たなパラダイムを構築する足掛かりとなる重要な実験と位置づけられています。

MEG実験は、本センターの研究者が中心になって設計・提案した国際共同研究プロジェクトです。実験の重要性を認識したイタリア、スイス、アメリカ、ロシアの研究者たちが加わり、約70名体制でスイスのPSI（ポールシェラー研究所）を拠点に、2008年から研究が始まりました。

きわめて稀にしか起こりえない「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」を観測するには、大量の μ 粒子が必要です。それを可能にするのが、世界で唯一、1秒間に約1億個もの μ 粒子をつくり出すことのできるPSIの「陽子サイクロトロン」です。日本の研究チームは、陽電子（プラスの電荷を持つ電子、 e^+ ）の性質を測定する「COBRA陽電子スペクトロメータ」や、 γ 線を検出する「液体キセノン γ 線検出器」をはじめ、実験の主要部分を発案して開発するとともに、研究グループ全体を主導する役割を担っています。

これまでの実験の結果、「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」は2.4兆回に1回未満の確率でしか起こらないことが明らかになりました。これは、超対称大統一理論をはじめ、標準理論を超える新たな理論に対するきわめて厳しい制限で、さらに高い精度で新物理の妥当性を検証することが急務となっています。そのため観測感度をもう1桁高め、数十兆回に1回の頻度で「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」が起こるかどうかなを確認するMEG II実験を、2022年から開始予定です。

PSIは毎秒100億個までの μ 粒子を作り出す計画を打ち出しており、MEG IIで期待される発見の後、詳細研究する実験の検討も始まりました。

MEG実験は、素粒子物理学の新分野を切り拓きました。 μ 粒子を使って素粒子物理学の新たな理論を検証する「荷電レプトンフレーバー物理」と呼ばれる分野です。現在、3つの大規模な実験計画が日・欧・米で進んでいます（Mu2e、Mu3e、COMET）。これらの実験グループが集まる国際研究会を開催するなど、グローバルな枠組みで超対称大統一理論の検証に挑んでいます。



森 俊則 教授
 ■ICFA（国際将来加速器委員会）日本代表
 ■JAHEP（高エネルギー委員会）委員長
 ■MEG実験代表者/スポークスパーソン

略歴
 1989年 米国ロチェスター大学大学院 Ph.D.、東京大学理学部附属素粒子物理国際センター助手
 1994年 東京大学大学院理学系研究科助手
 1994年 東京大学素粒子物理国際研究センター助手
 1996年 東京大学素粒子物理国際研究センター助教授
 2003年 東京大学素粒子物理国際研究センター教授

MEG II 実験概要

「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」を観測する測定装置。装置は5mの立方体の建屋内に設置されている。日本の研究チームが主要部分を開発するとともに、研究グループ全体を統括する。装置に関する画像すべて ©MEG Collaboration

新開発
 輻射崩壊検出器



μ 粒子の輻射崩壊による背景 γ 線を同定する。

COBRA超伝導電磁石

COBRA陽電子スペクトロメータの一部。高精度陽電子測定のために特殊な勾配磁場を生成する。



理論探求

素粒子の世代に潜む謎

1970年代初頭に発見されていたクォークは3種類しかなかった。その時代に、小林 誠・益川敏英先生の二人は、3つの「世代（フレーバー）」に分類される6種類のクォークがあることを予言した。その後すべてのクォークが発見され、さらにKEKの実験などで、クォーク世代間の転換（混交）が、「小林・益川理論」の予言どおり起こることが確認された。二人は2008年にノーベル物理学賞を受賞した。

続いて、ニュートリノでも世代混交が起こることが突き止められた。これは本学研究者の功績が大きい。本センターを創設した小柴昌俊先生は、カミオカンデの実験で1987年に超新星爆発によるニュートリノを世界で初めて捉え（2002年ノーベル物理学賞）、さらに観測性能を高めたスーパーカミオカンデの実験で、本学の梶田隆章先生が1998年にニュートリノ振動の確かな証拠を掴んだ（2015年ノーベル物理学賞）。

MEG実験は、荷電レプトンで世代混交が起こるかを探索する。「超対称大統一理論」では μ 粒子と電子の間の転換が予想され、成果は世界の研究者から注目されている。

新開発

ドリフトチェンバー（陽電子飛跡検出器）
 COBRA陽電子スペクトロメータの一部。陽電子の飛跡を精度よく測定する。

液体キセノン γ 線検出器
 900ℓの液体キセノンと2種類の超高感度光センサーで、 γ 線のエネルギー・時間・位置を精度良く測定する。

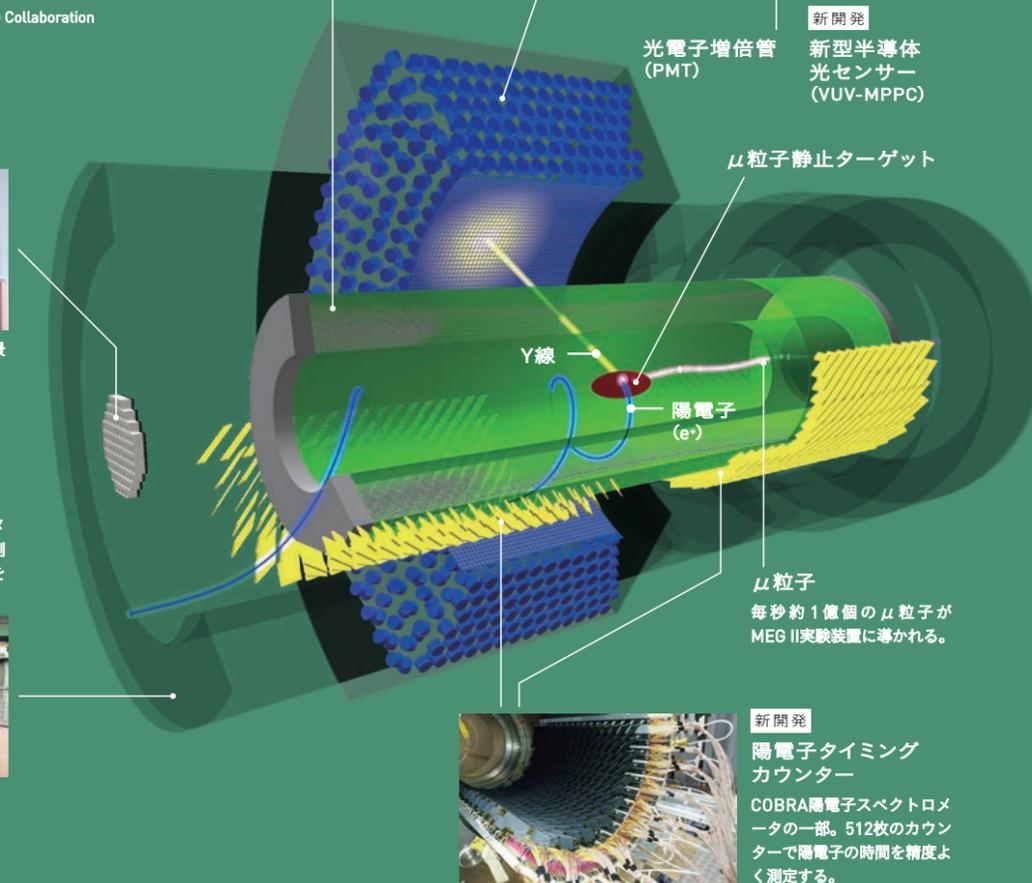


新開発

新型半導体光センサー（VUV-MPPC）

光電子増倍管（PMT）

μ 粒子静止ターゲット

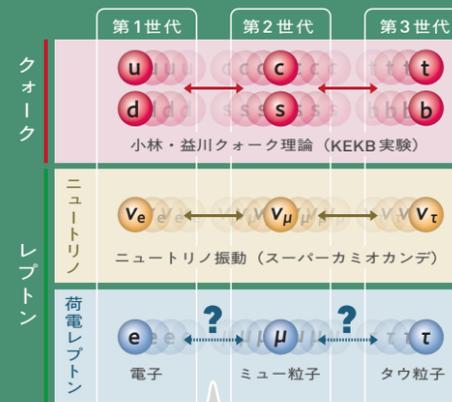


μ 粒子
 毎秒約1億個の μ 粒子がMEG II実験装置に導かれる。

新開発

陽電子タイミングカウンター

COBRA陽電子スペクトロメータの一部。512枚のカウンターで陽電子の時間を精度よく測定する。



クォークとニュートリノでは、世代混交（フレーバー転換）が起こることが確認されている。MEG実験では、荷電レプトンでも稀に（十兆回に一回程度）世代混交が起こる（荷電レプトンフレーバー保存の破れ）とする「超対称大統一理論」の検証を目指している。



陽子サイクロトロン



©PSI
 世界最大強度の μ 粒子ビームを生み出すPSIの陽子加速器。

素粒子の振る舞いを、 より細やかにとらえる

ILC (国際リニアコライダー) は、全長約20kmの線形加速器です。電子と陽電子(電子の反粒子)を最高エネルギーで加速衝突させ、宇宙誕生から1兆分の1秒後のビッグバンを再現し、素粒子と宇宙の謎に迫ります。ILC計画は、素粒子物理学の次世代基幹プロジェクトです。2030年代後半の稼働を目指し、世界中の研究者が取り組んでいます。

ILCの電子・陽電子の衝突時のエネルギーは250 GeV (ギガ電子ボルト) です。将来的には全長を延長し、さらに加速技術の発展により、衝突エネルギーの大幅な増強も期待されます。ILCには、CERNのLHCと異なる大きな特徴があります。それは、LHCは複合粒子である陽子どうしの衝突であるのに対し、ILCは素粒子である電子と陽電子の衝突であることです。複合粒子と単体粒子はそれぞれ大福餅と小豆にたとえられます。大福餅どうしをぶつけると餡が飛び散り、衝突の際に何が起きているかを見極めづらくなりますが、小豆どうしの衝突ならば、衝突の様子をクリアにとらえることができます(右ページ参照)。このように、ILCは素粒子の性質を詳しく調べるのに適しています。

LHCで発見されたヒッグス粒子は、宇宙の真空に潜む謎に包まれた粒子です。ヒッグス粒子を大量に生成して詳しく調べるには、「ヒッグス・ファクトリー(工場)」計画の早期実現が重要です。それは、国際研究者コミュニティでの共通認識です。なかでもILCは、その性能および計画の進展状況において、もっとも優れた加速器です。ILCでは、ヒッグス粒子を詳細に調べることで、素粒子の質量や宇宙の物質の起源の解明を目指します。さらには、軽い暗黒物質(ダークマター)の探索など、超対称性理論や力の大統一の検証につながる

る未知の新粒子の発見も期待されます。

ILC計画は、長年の国際共同研究を経て、技術設計書(TDR)が2013年に完成しています。2020年にICFAにより国際推進チーム(IDT)が設置され、現在準備研究所(PreLab)に向けた準備が進んでいます。計画推進国際組織の要職は、本学・本センターの研究者が担っています。ICFAの日本代表は本センターの森俊則教授が務め、IDTには村山斉氏(本学特別教授・カブリIPMU主任研究者)が入っています。国内での推進を担うILC推進パネルの委員長は山下了特任教授が務めています。計画実現に向け、研究開発も本格化しています。最先端技術を駆使した新しいコンセプトにもとづき、加速器や超高精細測定器の開発が進められています。本センターの大谷航准教授は、ILC測定器国際共同開発グループのカロリメータ担当議長として、開発を牽引しています。

建設候補地には、日本の北上山地が有力候補に挙がっています。ILCが日本で実現すれば、世界の科学技術人材と企業が集結する一大グローバル科学都市が日本に誕生します。世界が注目する次世代基幹プロジェクトを実現するため、世界中の知恵と技術を結集し、本センターの研究者も力を合わせて取り組んでいます。



山下了 特任教授

- 高エネルギー物理学研究者会議 ILC 推進パネル委員長
- 先端加速器科学技術推進協議会大型プロジェクト研究部会長

略歴
1995年 博士(理学)、
東京大学素粒子物理国際研究センター助手
2004年 東京大学素粒子物理国際研究センター准教授
2016年 東京大学素粒子物理国際研究センター特任教授



ILD
(International
Large Detector)

SiD
(Silicon
Detector)

測定器 (ILD/SiD)

ILCに建設される2種類の測定器。測定器の特徴を補完しあうことで、実験全体として高精度の観測を目指す。「ILD」は日欧の研究機関が、「SiD」は米国の研究機関がメインとなって開発を進めている。

研究開発

加速器の形の違いは 何を意味するのか?

加速器は、「円形」か「線形」か、「ハドロン型」か「レプトン型」かで大きく分けることができる。陽子どうしを衝突させるLHCは「円形」で「ハドロン型」、電子と陽電子を衝突させるILCは「線形」で「レプトン型」の加速器だ。「ハドロン」とは、複数の「クォーク」が「グルーオン」(強い力を生み出す素粒子)によって結び付けられている複合粒子のことである。

加速器は、「線形」から「円形」へと発展し、大型・高エネルギー化してきたが、「円形」加速器にはひとつの制約があった。電子や陽電子は質量が軽いため、曲がる際に放射光を出してエネルギーを失ってしまうのだ。そのため、大型化した「円形」加速器の主流は「ハドロン型」だった。

ただし、「ハドロン型」は、本来調べたい事象のほかに、さまざまな現象が同時に起こるため、素粒子の細かい性質を調べるには必ずしも適していない。ILCのように、「線形」の「レプトン型」の加速器で、TeV(テラ電子ボルト)単位の高い衝突エネルギーを実現するのは、素粒子物理の研究者たちの長年の夢である。

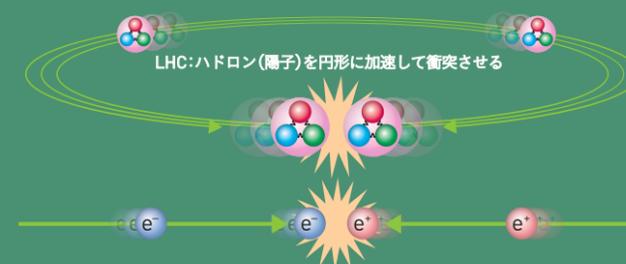
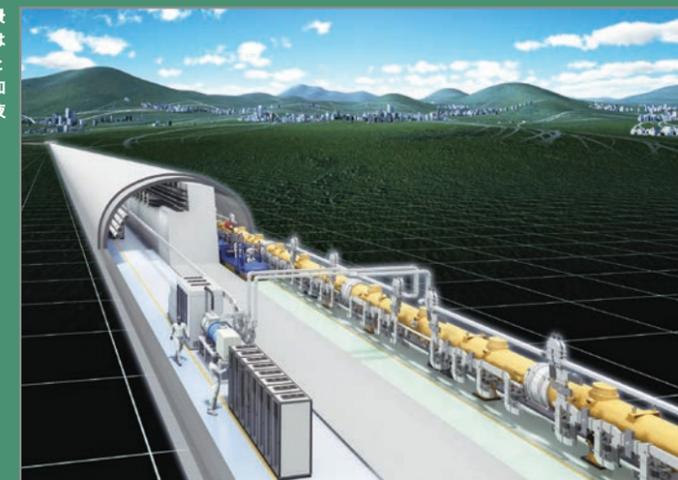
ILC 完成予想図

ILCの全長は約20km。
電子と陽電子をそれぞれ光速近くまで加速、中心部で衝突させ、タイプの異なる2つの測定器で事象を観測する。

主線形加速器/クライオモジュール
長さ約7.5kmの「主線形加速器」が中心部を挟んで2つ設置される。図は加速器を構成するモジュール(直径1m、長さ12.2m)で、これを約750台つなげて1つの「主線形加速器」をつくる。モジュールには、短い距離で効率よく電子と陽電子を加速できる「超伝導加速空洞」の装置が組み込まれている。

すべてのイラストは©Rey.Hori

ILCの完成イメージ(遠景図)。黄色い管状のものは「クライオモジュール」と呼ぶ真空容器で、超伝導加速空洞や超伝導電磁石、液体ヘリウムを収めている。



LHC:ハドロン(陽子)を円形に加速して衝突させる

ILC:レプトン(電子と陽電子)を線形に加速して衝突させる

LHCとILCの加速器の性質の違い。ILCは、単体の素粒子(電子と陽電子)を衝突させるため、素粒子の詳細な性質を調べるのに適している。

超伝導 加速空洞



短い距離で効率よく、電子と陽電子を加速することができる。主線形加速器を構成するクライオモジュールに組み込まれている。

「光」の技術で 「真空」の本質に迫る

小 規模ながらも、ユニークなアイデアと多彩な実験手法を駆使して未知の現象に迫る。それがTabletop実験です。

この実験では、大型加速器の代わりに「光」の技術を駆使します。電波から可視光、ガンマ線に至るまで、幅広い波長から最適な「光」を選択し、波長の差は、短いものと長いものとで1兆倍にも及びます。近年の量子光学技術の急速な進展により、これらの光の精度・強度・波長を自由自在に操れるようになってきました。多様な光技術を組み合わせ、「真空」の本質を探求しています。

「真空」というと、何も無いだけの空間を連想するかもしれませんが、現代物理学では、仮想粒子が常に生成と消滅を繰り返す複雑な構造をしていると考えられています。そのような真空に、強力な磁場をかけると、真空中の仮想粒子が磁場を感じて異方性を持ち、真空が歪みます。この真空の歪みを、光技術で観測するのが実験の狙いです。

強磁場を加えた空間内では、真空の歪みによって赤外線のパラジラにわずかなズレが生じます。それを検出するため、高精度の赤外線レーザーを2枚の鏡に当てて反射させ、ズレを増幅させます。また、微少なスケールの真空の歪みの観測には、X線が適しています。X線は赤外線よりも波長が約1万分の1と短く、歪みをマイクロメートル単位で観測することができます。これらの実験で活用するのが、理化学研究所の「X線自由電子レーザー施設(SACLA)」です。真空を歪める方法には、大強度のレーザーを衝突させる、X線自身を分岐して衝突させるなどもあり、それぞれ世界初の試みです。

私たちがもうひとつ力を入れるのが、「ポジトロニウム」と呼ばれる、電子とその反粒子である陽電子が結びついた、準安定な粒子を用いた実験

です。その成り立ちから、ポジトロニウムは物質と反物質の対称性を調べるうえで非常に有用です。また、スピンの状態に応じて「パラポジトロニウム」と「オルソポジトロニウム」の2種類があり、前者は真空とよく似た性質を持つ一方、後者は光とよく似た性質を持ちます。このため、両者の違いを精密に調べることで、真空の性質を調べることができます。

現在までに、両者のエネルギー差を100万分の1の精度で測定し、理論予想と合っていることを確認しました。また、ミリ波の大強度光源を福井大学と共同開発し、それを照射することで、オルソポジトロニウムをパラポジトロニウムに世界で初めて変化させることにも成功しました。目下、レーザーを使ってオルソポジトロニウムを「凝縮」させ、巨視的なサイズでのオルソ→パラ変化を観測するための装置を開発しています。これにより、真空の性質の理解を進めるとともに、ガンマ線レーザーの実現が可能となります。

このように多彩な光技術を駆使し、真空をはじめ、さまざまな素粒子現象を探求していきます。



浅井祥仁 センター長
 ■ ATLAS日本グループ 共同代表者
 ■ FCC (CERN将来加速器計画) ステアリングボードメンバー

略歴
 1995年 博士(理学)、東京大学素粒子物理国際研究センター助手
 2003年 東京大学素粒子物理国際研究センター助教授
 2007年 東京大学大学院理学系研究科准教授
 2013年 東京大学大学院理学系研究科教授
 2017年 東京大学素粒子物理国際研究センター長(兼務)

研究開発

真空中に迫る多彩な装置

光による真空の歪みの検出



強磁場による真空の歪みを探索する装置。強磁場中を通過しわずかに偏光が変わった赤外線レーザーが、左奥の丸い窓から出てくる。手前に配置された光学素子でその微小な変化を検出する。

大強度赤外線レーザーを集中させて真空を歪め、X線の散乱で歪みを検出する。赤外線レーザーは写真左奥から供給され、四角い容器内で集中させる。X線は右のパイプから送られてくる。理研の「X線自由電子レーザー施設(SACLA)」を利用する。

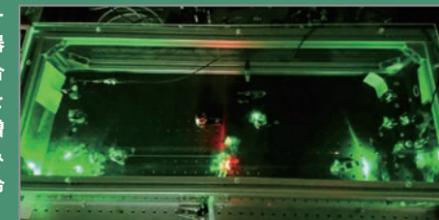


ポジトロニウムの精密測定



高出力サブテラヘルツ波光源-ジャイロトロン。福井大学が開発したこの装置に、浅井研究室が開発した装置を組み合わせ、ポジトロニウムの状態間のエネルギー差を世界で初めて観測することに成功した。

ポジトロニウム冷却用レーザーの生成装置。光共振器と増幅器、変調器を組み合わせ、特殊なレーザー光をつくり出す。後段に多段増幅器と波長変換装置を組み合わせ、ポジトロニウム冷却光源として利用する。



一部の実験は、理学部1号館内の研究室にて行なわれる。

X線自由電子レーザー施設(SACLA)



©国立研究開発法人理化学研究所

物質の極めて速い動きや変化の仕組みを解明する、理研が誇る世界最高性能の研究施設。

遅しき「知のプロフェッショナル」を育成する

本センターのミッションは、研究と教育の両輪にあります。本センターが国際共同研究に力を入れるのは、学生たちが海外の実験に参加し、各国の研究者と切磋琢磨して実践的な力を養うためでもあります。世界で通用する広い視野を持ったサイエンティストやリーダーを育てるため、大学院修士課程より本センターの各研究室で学生を受け入れて指導にあたります。

まずは、国内の小さな実験で計画立案から測定器開発までを自力で行ない、実験研究者としての基礎力を身につけます。次に進んだ博士課程では、ATLASのように世界各国から研究者が集う国際共同実験に参加し、外国人研究者と交わりながら日夜研究に取り組みます。そこでの学びや経験をもとに博士論文を書き上げ、独立した研究者になるための総合力を磨き上げます。

本センターが力を入れて取り組む研究のほとんどは、世界を舞台に行なわれています。各国の研究者たちとときには競争し、ときには手を取り合いながら、研究力とともに人間力を磨く「最高の学び場」が、ここにはあります。

大学院生受け入れの推移 (単位：人)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和1年度	令和2年度
研究室数	9	9	8	9	9	7	8	8
修士課程	19	24	24	19	18	16	17	21
博士課程	17	16	18	22	24	22	21	18
合計	36	40	42	41	42	38	38	39

学位取得の推移 (単位：人)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和1年度	令和2年度
修士課程	7	10	13	10	10	8	5	7
博士課程	5	3	1	6	6	2	8	7
合計	12	13	14	16	16	10	13	14

卓越大学院プログラム 変革を駆動する先端数学・物理学プログラム(FOPM)

2019年度に文部科学省に採択された本プログラムは、数学・物理の教育を通じ、基本原理に基づく論理的かつ柔軟で偏りのない思考法を身に付け、科学フロンティアの開拓に挑み、激変する社会の課題解決に貢献する人材の育成を目指しています。

プログラム生は、5年の修博一貫プログラムのもと、海外の一流の研究者との共同研究や、海外企業における体験実習のための旅費等に加え、学業・研究に専念できるようRAの委嘱など、経済的支援を受けられます。英語力アップのための講義やセミナーもあります。

コーディネータの村山齊特別教授を中心に、本センター教員も含む国内外の教員約100名で、プログラム生の「未来社会と先端科学」の橋渡しを支援しています。

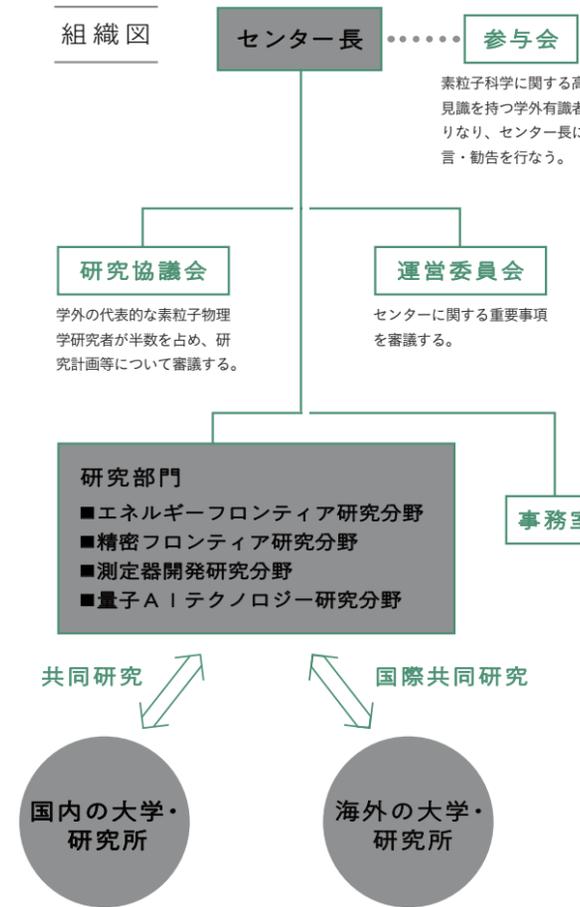


スーパーグローバル大学創成支援 戦略的パートナーシップ 大学プロジェクト

2014年度に文部科学省に採択された「東京大学グローバルキャンパスモデルの構築」の柱は、海外の大学との緊密で創造的かつ柔軟で特別な協力関係、「戦略的パートナーシップ」の確立です。関係部局が協力し、海外大学との多様な共同事業を大学全体で支援します。

その一環で、理学系・工学系・情報理工学系研究科と本センターが連携し、スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETHZ)と学術・学生交流の推進を図っています。本センターはETHZに加え、同校と関係の深いスイス・PSIと、教育・研究の国際協力を進めています。

MEG II実験をベースとしたサマープログラムの共同運営のほか、学生交流や質の高い教育プログラムを実践し、国際的に活躍できる理系人材を育成します。



組織人員 (単位：人)

	現数	内訳			客員
		女性	外国人	若手*	
教授	3				2
特任教授	1				
准教授	5			1	2
助教	10		1	3	
特任助教	6			6	
特任研究員	1			1	
特別研究員	1			1	
技術職員	1				
事務職員	4	4		1	
合計	32	4	1	13	4

■本センターは、32人体制で運営しています(令和3年5月現在)。
■若手研究者(※20代・30代)も研究に励んでいます。

COLUMN

センターのロゴに込めた決意

本センターは、1974年に前身となる理学部附属高エネルギー物理学実験施設が創設されて以来、日本の素粒子物理学をリードすべく、数多くの国際共同研究に取り組んできました。その道を切り拓いたのは、2002年にノーベル物理学賞を受賞された小柴昌俊先生です。

その歴史とミッションをあらためて胸に刻み、未来を目指す羅針盤として、センターのロゴを作成しました。素粒子衝突実験で粒子が飛散する様子を

した「イベントディスプレイ」と、東大マークのシンボル「銀杏」のモチーフを融合させ、意匠として表現しました。真のグローバル大学を目指す東大で、素粒子物理学の最先端を切り拓き、新たな「知」を創出し続ける強い決意を表しています。

略式ロゴに記載した「ICEPP」の文字は、センターの英語名称「International Center for Elementary Particle Physics」の頭文字で、国内外の研究者にこの略称で広く親しまれています。

スタンダード



ロゴのメインデザインと組織の正式名称(和・英)の組み合わせ

シンプルデザイン



ロゴのメインデザインと組織の省略を縦・横に組み合わせた2パターン

文部科学省認定

「共同利用・共同研究拠点」として

文部科学省が認定する「共同利用・共同研究拠点」は、我が国の学術研究の発展のため、個々の大学の枠を越え、大型設備や資料・データを共同で利用・研究するための枠組みです。

本センターは、平成22年度に「最高エネルギー素粒子物理学研究拠点」として認定を受けました。世界最先端の加速器施設で行なわれる素粒子物理学研究の我が国の中心拠点となり、国際共同実験を主導・実施することが求められています。平成27年度で最初の認定

期間が終了し、拠点としての活動や研究成果、優れたリーダーシップが高い評価を受け、平成28年度より認定が更新されました。

今後もCERNのATLAS実験を最重要プロジェクトに位置づけ、スイスのPSIでのMEG実験や、素粒子物理学の次世代基幹プロジェクトであるILC計画にも取り組み、超対称性粒子の探索や力の大統一など、標準理論を超える新たな物理学の発見を目指します。

研究者コミュニティのための貢献

■ 利用環境設備の充実

- ・ ATLAS 地域解析センター (p4参照)
- ・ CERN サテライトシステム
- ・ PSI 設置 MEG 実験システム

■ 研究会・講習会の開催

- ・ ATLAS 研究会 (年2～3回、右記参照)
- ・ コンピューティングスクール (右記参照)

■ 独自の若手育成プログラム

- ・ ICEPP フェローシップ
将来を担う若手研究者が、最先端の研究を行なう海外の研究機関に長期滞在し、研究に打ち込めるよう支援をしています。
- ・ ICEPP シンポジウム (右記参照)
素粒子物理学分野の研究者(特に大学院生)どうして交流を深めるため、毎年2月頃にウィンタースクールを開催しています。

新テラスケール研究会 (ATLAS 研究会)



素粒子物理学に関する情報交換や議論を行なう研究会を年に数回開催しています。理論や実験、国内外を問わず研究者が集まります。大学間や個人の連携が生まれ、研究力向上や学術的発展を支援する基盤形成の役割も果たしています。
新学術領域研究「ヒッグス粒子発見後の素粒子物理学の新展開」の研究組織が運営にあっています。

粒子物理コンピューティングスクール



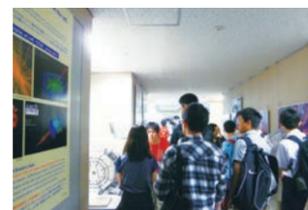
大量のデータを扱う大規模物理実験では、コンピューティングの高度利用が不可欠です。KEK (高エネルギー加速器研究機構) や全国の大学とともに、次代の研究者のためのスクールを平成29年度より開催しています。多変量解析や機械学習、検出器シミュレーションなどの先端ソフトウェア、グリッドやクラウドなど分散コンピューティング技術を学習できます。

ICEPP シンポジウム



全国の大学で物理学を学ぶ大学院生を対象に、独自のウィンタースクールを毎年2月に実施しています。素粒子・原子核・宇宙物理など、分野の垣根を越えて学生が一堂に集い、多様な研究成果を発表し合います。令和元年度で第26回目を数え、さまざま交流が生まれています。

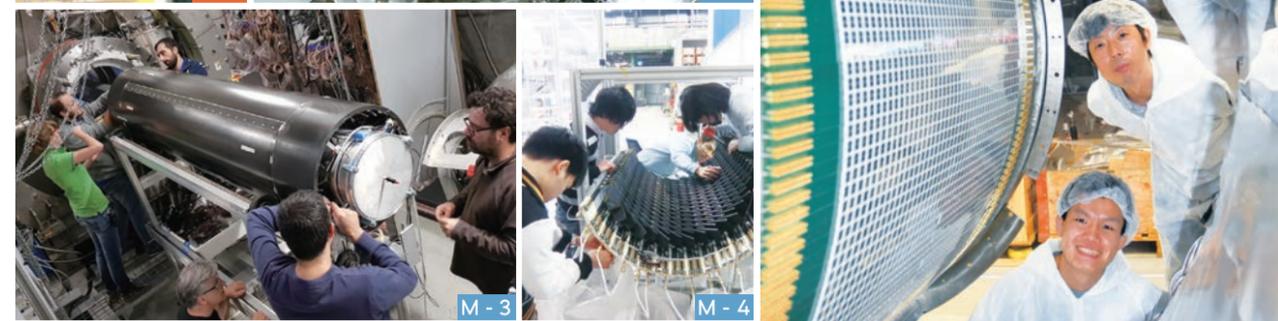
オープンキャンパス



これから大学進学を目指す方々を対象に、本センターの見学会を開催しています。センターの研究・教育内容や、社会との幅広い関わりについて、センターの教員や学生たちが自ら紹介します。教員の模擬講義や学生企画の素粒子実験体験コーナーは毎年好評です。

一般社会に向けた研究成果発表等

- 一般公開講演会
- オープンキャンパス (右記参照)
- 研究室見学、アウトリーチ活動等



ATLAS

A-1 LHCの運転停止期間中、ミュオン検出器を地下約100mから地上につり上げようとしている。A-2 LHCの1,200台以上のマグネットを、より安定・安全に動作させるための作業。A-3 第3期実験で導入するミュオントリガーシステムの、制御用ソフトウェア開発の準備。A-4 ミュオンを検出するマイクロメガス検出器の表面抵抗検査の様子。

MEG

M-1 M-2 日本チームが開発する液体キセノンγ線検出器。M-1の写真右側とM-2の写真左側は開発した光センサーPMT。M-1の写真左側は従来の光センサーPMT。M-3 イタリアの研究チームが開発するドリフトチェンバー。M-4 陽電子の発生時刻を測定するタイミングカウンターの開発風景。

ILC

I-1 ILC測定器に搭載予定のハドロンカロリメータの大型プロトタイプの実験。試験はCERNで実施した。I-2 I-3 ハドロンカロリメータの大型プロトタイプ。東京大学を含む国際共同チームが開発した。I-4 東京大学で開催された、ハドロンカロリメータの実験データ解析ワークショップの様子。世界から研究者が集まった。



東京大学素粒子物理国際研究センター
<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/>

発行日/令和3年5月27日
〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1
東京大学(本郷キャンパス内)理学部1号館西棟10F