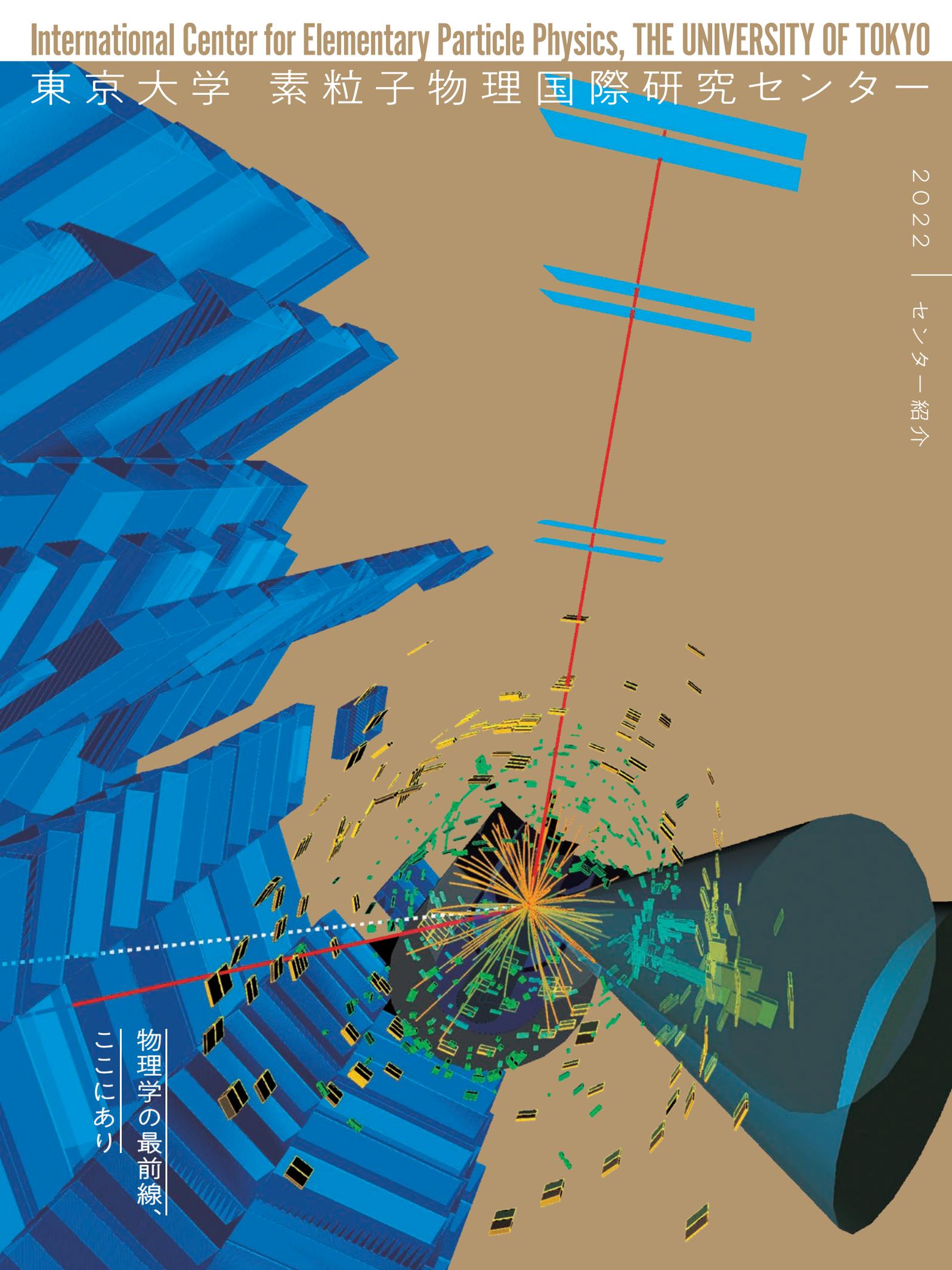


International Center for Elementary Particle Physics, THE UNIVERSITY OF TOKYO

東京大学 素粒子物理国際研究センター

2022 | センター紹介



物理学の最前線、  
ここにあり

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 **ICEPP × QC**  
素粒子物理学 × 量子コンピューティング(QC)

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**  
ヒッグス粒子発見から10年「真空・時空」の解明を目指す

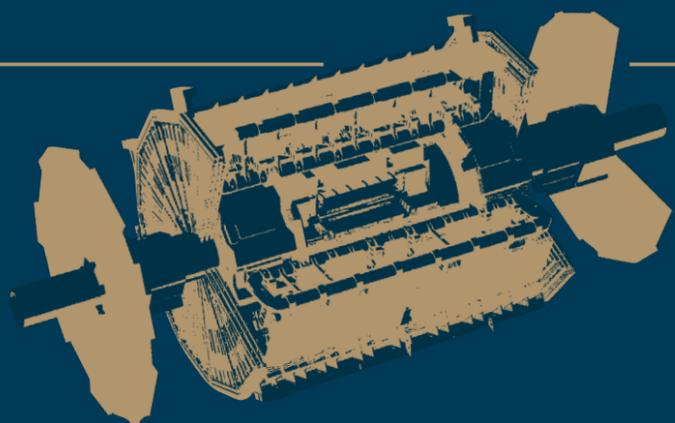
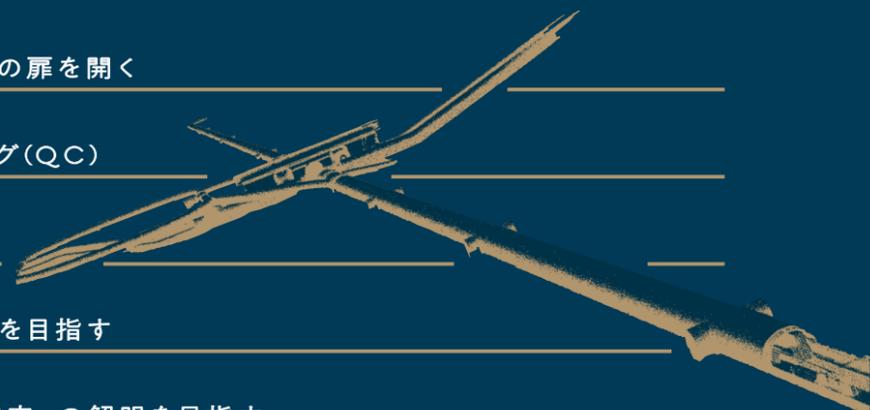
12 **MEG EXPERIMENT**  
MEG実験をさらなる高みへ 大統一理論の証拠を探る

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**  
多彩な技術で未知の物理現象を探索する

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 暉(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。

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。

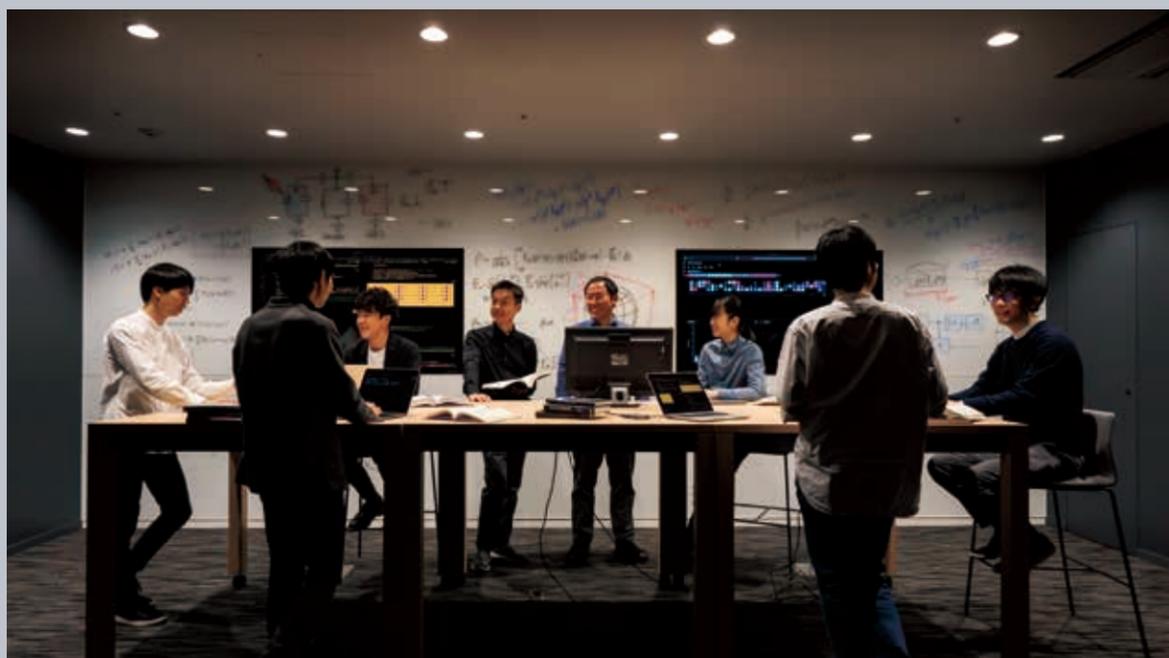
また、すぐには役立たないこの研究も、歴史を振り返れば、産業の基盤を成し、社会に大きな恩恵をもたらしています。物質の根源を探る研究から、電子の存在が100年前に明らかになり、エレクトロニクス(電子工学)産業が発展しました。X線や重粒子は医療で当たり前のように使われています。現代社会のインフラとなったインターネットのウェブ技術も、素粒子研究の総本山と言えるCERNで開発されたツールです。

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。言うならば基礎科学は、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。



## 素粒子物理学 × 量子コンピューティング (QC)

本センターは、量子コンピュータの研究と教育に力を入れて取り組み始めた。素粒子物理学に、なぜ量子コンピュータが必要なのか。その背景と本センターでの研究の取り組みを、寺師弘二准教授が紹介する。

### なぜ、素粒子物理学に

### 量子コンピュータが必要なのか

素粒子物理学実験では、物理事象の解析にコンピュータの力が欠かせません。さまざまな検出器やエレクトロニクスを駆使して集めた大量のデータを、コンピュータで統計解析して、どのような現象が起きているのかを突き止めます。

たとえば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）では、1秒間に数億回の陽子同士の衝突が起こり、大量の素粒子

が生成されます。それらのエネルギーや電荷、飛跡を検出器で計測し、コンピュータで処理して、数兆分の1という稀な頻度で発生する新粒子や新現象を見つけ出す実験です。2022年度に始まるRun3は4年間続く予定です。その後2029年からは、陽子の衝突頻度をさらに高めたHL-LHC（高輝度LHC）が計画されており、得られるデータ量が従来の数十倍にもなります。そうすると、今のコンピュータリソースでは解析が追いつかなくなる「計算爆発」が起こるとされています。そのため、新たなコンピューティングパラダイムが求められており、量子コンピュータはその可能性のひ

とつと考えられています。

量子コンピュータは、その動作原理上、問題によっては古典コンピュータよりも圧倒的な情報処理能力を持ちます。古典コンピュータが情報を0か1かの「ビット」を単位に処理するのに対し、量子コンピュータでは、0と1の重ね合わせを表現できる「量子ビット」を使って計算します。量子ビットが50個あれば、1,000通り近い状態を表現できるとされています。実用的な量子コンピュータの誕生にはまだ時間がかかりますが、将来の計算爆発に備えた準備が今から必要です。

私たちが量子コンピュータに期待する理由としては、素粒子実験との相性の良さも挙げられます。量子コンピュータの「量子」とは、ミクロな実体の波動性を利用したものです。素粒子はまさにミクロの粒子であり、素粒子実験は波の性質を持つ素粒子がいかに生まれ、どのように動くのかを観測するものです。非常に複雑な素粒子の波の振る舞いを、量子コンピュータを使うことで、従来よりも上手く計算できるようになるのではないかと



寺師 弘二 准教授

筑波大学大学院物理学研究科博士課程修了、ロックフェラー大学研究員、東京大学素粒子物理国際研究センターリサーチフェロー、助教を経て、2021年より現職。博士（理学）。

量子コンピュータが素粒子実験と親和性が高い領域は必ずあるはずだと考えて研究をしています。

### センターが力を入れて取り組む、 量子コンピュータ研究の現状

ICEPP（本センターの略称）が取り組む量子コンピューティングの具体的な研究テーマとして、3つのトピックスが挙げられます。

1つ目は「量子AI（人工知能）のアルゴリズムの研究」です。AIという言葉は多義に使われます

### 巨大加速器がもたらすものとは

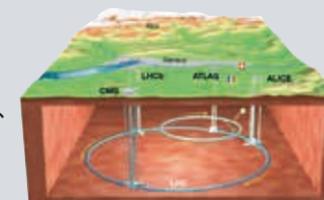
素粒子物理学の歩みは、加速器技術の進展とともにあった。加速器とは、粒子を加速させて運動エネルギーを高める装置のこと。高いエネルギーを持った粒子を衝突させれば、大きな質量を持った粒子が生まれてくる。1930年代ごろから、素粒子の研究に加速器が使われるようになった。微細な粒子を「見る」には、より高いエネルギーが必要で、加速器は次第に大型化していった。加速器は「巨大な顕微鏡」ともたとえられる。ヒッグス粒子発見の舞台となったCERNの円形加速器LHCは、全周約27 kmと世界最大を誇る。LHCでは、複合粒子である陽子を時計回りと反時計回りに、それぞれ光速近くまで加速して正面衝突させ、世界最高エネルギーを実現している。LHCは2029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。



## ICEPP×QC

が、素粒子実験においては特に「機械学習」を指します。これは大量のデータの中からパターンや法則を自動的に発見する技術です。加速器内で大量の素粒子が生成した際に、シグナル（未知の新粒子生成に関する信号）とバックグラウンド（存在することが分かっている現象）を高い精度で効率よく区別する必要があります。そうした解析に機械学習が用いられます。計算爆発の解決策として量子コンピュータの活用が期待され、量子AI・量子機械学習の研究を行なっています。

2つ目は「量子コンピュータを使った素粒子反応のシミュレーション等の研究」です。加速器の中ではさまざまな素粒子が生成し、それらが別の素粒子に崩壊する過程を繰り返します。素粒子の量子性に基づくこうした素粒子反応の解析やシミュレーションに、量子コンピュータを利用する研究を進めています。ただし、古典コンピュータで行なっている現在のシミュレーション精度に達する

ためには、量子コンピュータの飛躍的な進歩が必要です。そこでシミュレーションの元となる基本的なブ



ロセスについて、現在の量子コンピュータを使って計算することに取り組んでいます。

1つ目と2つ目のトピックスは量子コンピュータのソフト面に関する研究ですが、3つ目は「量子コンピュータのハードウェアの研究」です。開発したアルゴリズムを量子コンピュータで動かすためには、ハードウェアへの効率の良い実装と制御が欠かせません。専用量子ビットの開発や量子回路の最適な実装方法の研究、0と1と2の重ね合わせを表現できる「量子トリット」の開発など、ハード面からの研究開発も進めています。

これら一連の研究は、国際共同研究で進めています。ICEPPが量子コンピューティングの研究を始めたのも、私たちが国際共同研究として参画しているLHC-ATLAS実験での議論がきっかけです。現在、アメリカのLBNL（ローレンス・バークレー国立研究所）とシカゴ大学、そしてヨーロッパのCERNの3つが共同研究の軸となり、主にトピックスの1と2の研究を進めています。

### 産学協創と、「量子ネイティブ」の育成に向けた取り組み

またICEPPは、東京大学が全学で取り組む量子

コンピューティング研究や教育活動にも参画しています。2019年12月、東京大学は日本IBMと量子コンピューティング研究のパートナーシップを締結しました。さらに、産学官が連携して量子コンピューティング研究やその社会実装、および次世代の人材育成を進めることを目指す「東京大学量子イニシアティブ構想」を発表しました。

こうした枠組みの中で、ICEPPは2021年7月、IBMとの共同研究を正式に開始しました。具体的には、先ほど挙げたトピックスの1と3の共同研究を進めています。

また、量子技術とコンピューティング技術の両方に精通し、量子計算技術を使いこなす「量子ネイティブ」なる人材を育成するプログラムを、駒場の教養学部、情報理工学系研究科とともに立ち上げました。2021年度は学部3・4年生を対象に、

2021年7月、東京大学とIBMが、川崎市で始動させた日本初のゲート型商用量子コンピューティング・システム「IBM® Quantum System One」。



東京大学とIBMが、2021年6月、東大浅野キャンパス内に設置した量子システム・テストベッド。IBMとしては日本初のテストベッド設置となった。

量子コンピュータの原理を学び、さらにIBMの量子コンピュータを実際に動かす実習講座を開講し、私が授業を担当しました。履修生は当初予定の倍以上にのぼり、学生も量子コンピュータに注目し、強い期待を寄せていることがわかりました。

私たちとしてはもちろん、素粒子物理学に量子コンピュータを応用することを目指して研究をしています。ですが量子AIなどの研究成果は、基礎科学全体を革新的に変える可能性がありますし、実社会への応用も期待できるものです。

近年は、素粒子研究よりも量子コンピューティングに興味があり、ICEPPへの進学を希望する学生も増えています。私はそれも良いことだと考えています。というのは、量子計算技術を進展させる

には、この分野の裾野を広げ、成果を着実に生み出すことがとても大事だからです。将来どのような分野に進むにしろ、今の学生が一人前の研究者になるころには、実用的な量子コンピュータが登場している可能性があります。そのとき、ICEPPや東大で量子コンピューティングを学んだ人材が、この分野をリードして欲しいと期待しています。

### 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42カ国170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。2020年度の実績で、国内の研究機関に所属する利用者は120人、外国の研究機関に所属する利用者は1,000人に及ぶ。



### COLUMN



## 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

原子の内部構造

### 原子は素粒子でできている

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。

10<sup>-10</sup>m 原子

10<sup>-14</sup>m 原子核

10<sup>-15</sup>m 陽子

<10<sup>-18</sup>m 素粒子

クォーク 電子

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

標準理論とは何か

### 20世紀の物理学の到達点

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」

第1世代	第2世代	第3世代
クォーク アップ (u) ダウン (d)	チャーム (c) ストレンジ (s)	トップ (t) ボトム (b)
レプトン eニュートリノ (ν <sub>e</sub> ) 電子 (e)	μニュートリノ (ν <sub>μ</sub> ) ミュー粒子 (μ)	τニュートリノ (ν <sub>τ</sub> ) タウ粒子 (τ)

物質粒子

強い力	弱い力	電磁気力	
グルーオン (g)	Wボソン (W <sup>+</sup> , W <sup>-</sup> ) Zボソン (Z)	光子 (γ)	ヒッグス粒子 (H)

力を伝える粒子

ヒッグス場に伴う粒子

標準理論に含まれる素粒子

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

標準理論の限界

### 標準理論が直面するいくつかの限界

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。

宇宙誕生

インフレーション

ビッグバン宇宙

ヒッグス粒子の凝縮

クォーク閉じ込め

元素合成

宇宙の晴れ上がり

現在の宇宙

重力の分離

強い力の分離

弱い力の分離

電磁気力

重力

強い力

弱い力

電磁気力

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

### 標準理論を超える究極の理論とは

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まだ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。

未知の新現象?

大統一理論?

超対称性?

g

H

ヒッグスの発見

トップクォークの発見

t

W<sup>-</sup> W<sup>+</sup>

ウィークボソンの発見

## 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約50年間、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。2022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。

PAGE 10

### 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 (下図を参照)。

CERNが誇る、世界最高の衝突エネルギーの円形加速器LHC (大型ハドロン衝突型加速器) では、本センターが参加するATLAS実験が執り行なわれ、さまざまな素粒子現象の解明を目指します。今年から第3期実験を開始し、LHCの高輝度化に向けた開発研究も推進しています。



欧州合同原子核研究機構 (CERN) ©CERN

PAGE 12

### 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「 $\mu$ 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、 $\mu$ 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) を今年開始し、本格的なデータ取得により、世界に先駆けて前人未踏の領域を探索します。



ポールシェラー研究所 (PSI) ©PSI

PAGE 14

### 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

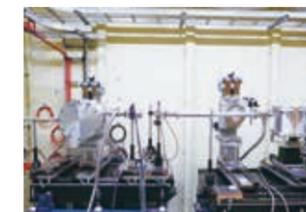
PAGE 18

### 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



# 2022年 LHC RUN3 実験が始動

## ヒッグス粒子発見から10年 「真空・時空」の解明を目指す

**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8TeV（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13TeV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。

2019-21年にLHCの運転を停止し、入射加速器の大幅な改良を終え、2022-25年の第3期実験（Run3）が始まろうとしています。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を完了しました。Run3では、暗黒物質（ダークマター）の候補となる超対称性粒子の探索など、宇宙誕生の謎を解明する新発見を目指した研究を遂行します。

ATLAS実験は、世界42ヶ国から181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13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、2029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発に挑戦しています。



石野雅也 教授

- ATLAS日本グループ共同代表者
- 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

ATLAS EXPERIMENT

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。

研究開発

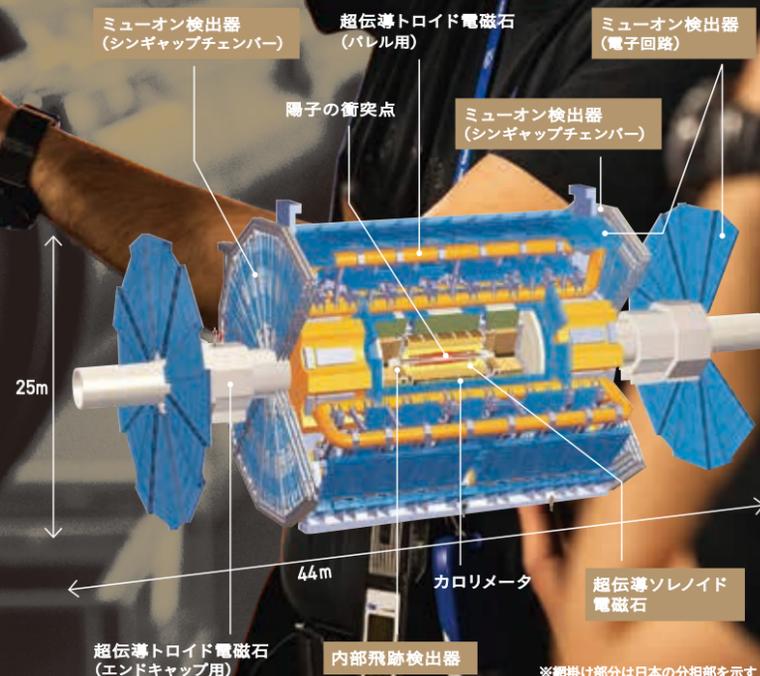
## 新粒子の発見を目指す ATLASの仕掛け

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）。網掛け部分が、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



# 2022年 MEG II 実験が始動

MEG 実験をさらなる高みへ  
大統一理論の証拠を探る

**M**EG実験では、電子の仲間である「 $\mu$ 粒子」が、 $\gamma$ 線を放出しながら電子に崩壊する「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」という事象をの観測を目指します。「 $\mu$ 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す（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言されています。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名体制でスイスのポールシェラー研究所（PSI）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 $\mu$ 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 $\mu$ 粒子をつくり出せる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、 $\gamma$ 線を検出する「液体キセノン $\gamma$ 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判明しました。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。そのため検出器性能を大幅に改善し、PSIの最大ビーム強度をフル活用することで観測感度を1桁高め、数十兆回に1回の頻度で「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」が起こるかを確かめるMEG II実験を、2022年から開始します。4～5年のデータ取得で目標分岐比感度に到達見込みで、順調に行けば開始後数ヶ月でMEG 実験の探索感度を凌駕するかもしれません。

PSIは毎秒100億個までの $\mu$ 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。 $\mu$ 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（COMET、Mu3e、Mu2e）。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（高エネルギー物理学研究者会議）委員
- MEG実験代表者

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 EXPERIMENT

陽子サイクロトロン



©PSI

世界最大強度の $\mu$ 粒子ビームを生み出すPSIの陽子加速器。

理論探求

## 素粒子の世代に潜む謎

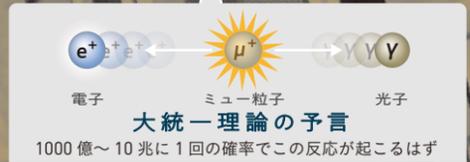
1970年代初頭に発見されていたクォークは3種類しかなかった。その時代に、小林 誠・益川敏英先生の二人は、3つの「世代（フレーバー）」に分類される6種類のクォークがあることを予言した。その後すべてのクォークが発見され、さらにKEKの実験などで、クォーク世代間の転換（混交）が、「小林・益川理論」の予言どおり起こることが確認された。二人は2008年にノーベル物理学賞を受賞した。

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 $\mu$ 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。



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、荷電レプトンでも希に（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。



1000億～10兆に1回の確率でこの反応が起こるはず

## ILC PROJECT

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、衝突の際のノイズが多くなりますが、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。その後2020年にICFAにより国際推進チーム(IDT)が設置され、国際共同での技術の完成に向けた新たな枠組みの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)が入り、国内外のステークホルダーの支持の拡大に向けて、研究者コミュニティ全体でさまざまなプロセスを進めています。

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執行部メンバーとして、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

■ JAHEP (高エネルギー物理学研究者会議) 委員  
■ 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

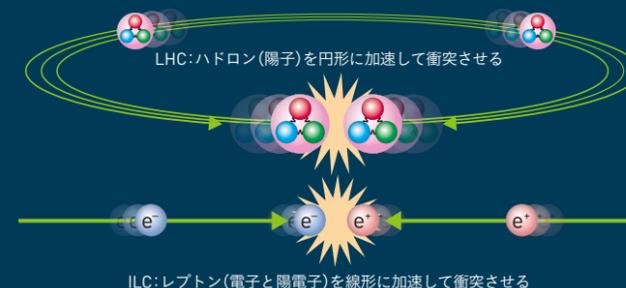
長さ約7.5kmの「主線形加速器」が中心部を挟んで2つ設置される。図は加速器を構成するモジュール(直径1m、長さ12.2m)で、これを約750台つなげて1つの「主線形加速器」をつくる。モジュールには、短い距離で効率よく電子と陽電子を加速できる「超伝導加速空洞」の装置が組み込まれている。

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。

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。



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。

## TABLETOP EXPERIMENT

多彩な技術で  
未知の物理現象を探索する

**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。大型加速器では難しい実験を高い精度で行なうために、この実験では特殊な粒子ビームや特別なセンサーを開発・利用します。

「コヒーレントな光」は、有力な実験手段です。光子は陽子や電子とは異なり、全く同じ量子状態を複数の粒子が占めることができます(これを「コヒーレント状態」と言います)。近年の量子光学技術の急速な進展により、レーザーに代表されるコヒーレントな光は、その精度・強度・波長・偏光を自由自在に操ることができるようになりました。強いエネルギーを一点に集中させたり、干渉の効果を利用して微小な変化を観測したりすることもできます。

もし、「真空」の一部にエネルギーを集中すると何が起こるでしょうか？ 現在、物理学の描く真空は、仮想粒子が生成と消滅を繰り返す複雑な構造をしています。そのような真空にコヒーレントな光や強力な磁場などで電磁場を集中させると、真空が異方性を持ち、歪んだ状態になります。この歪みの観測を目指して実験を行なっています。

歪みの検出にも光を利用しています。赤外線レーザーを、鏡で数十万回も往復して蓄積することで、偏光のズレを増幅します。また、微小な歪みの検出には波長が短いX線が有利であるため、理化学研究所の「X線自由電子レーザー (SACLA)」も利用します。SACLAではX線レーザーどうしをぶつけて歪みを検出する実験も行なっています。

電子の反粒子である陽電子のビームを使い、「反物質を含んだコヒーレント状態」を作る実験も行なっています。陽電子と電子が対となった準安定な複合粒子である「ポジトロニウム」は、密

度を高めて冷却すると、単一な量子状態に縮退すると考えられています(これを「ボース・アインシュタイン凝縮」と言います)。このような状態を作り出すことができれば、物質と反物質の対称性を詳細に調べたり、ガンマ線レーザーを実現したりすることができます。ポジトロニウムを冷却するには紫外線レーザーを使用し、準位の励起と脱励起での紫外線の吸収と放出の過程を利用します。特殊なレーザー光源が必要であるため、自作して冷却実験を行なっているところです。

非常にエネルギーの低い中性子ビーム(超冷中性子ビーム)を利用した実験も行なっています。超冷中性子は非常に速度が遅いため、重力の影響による落下を測定することができます。時間感度を持ち、精密な位置情報を取得できる中性子検出器を開発することで、量子系における弱い等価原理の検証を目指しています。

そのほかにも、ミリ波の超伝導検出器を利用して、暗黒物質の探索を行ったり、矮小楕円体銀河から放出が予想される暗黒物質の対消滅信号を探索するなど、いろいろなアイデアで、世界最高レベルの感度の実験を行なっています。



浅井 祥仁 センター長

- JAHEP (高エネルギー物理学研究者会議) 委員長
- 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

## 未知の現象に迫る多彩な装置群

## 光による真空の歪みの検出

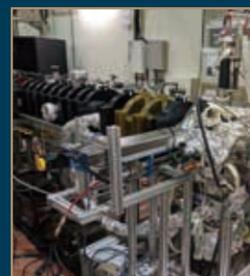


強磁場による真空の歪みを探索する装置。強磁場中を通過しわずかに偏光が変わった赤外線レーザーが、左奥の丸い窓から出てくる。手前に配置された光学素子でその微小な変化を検出する。

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。

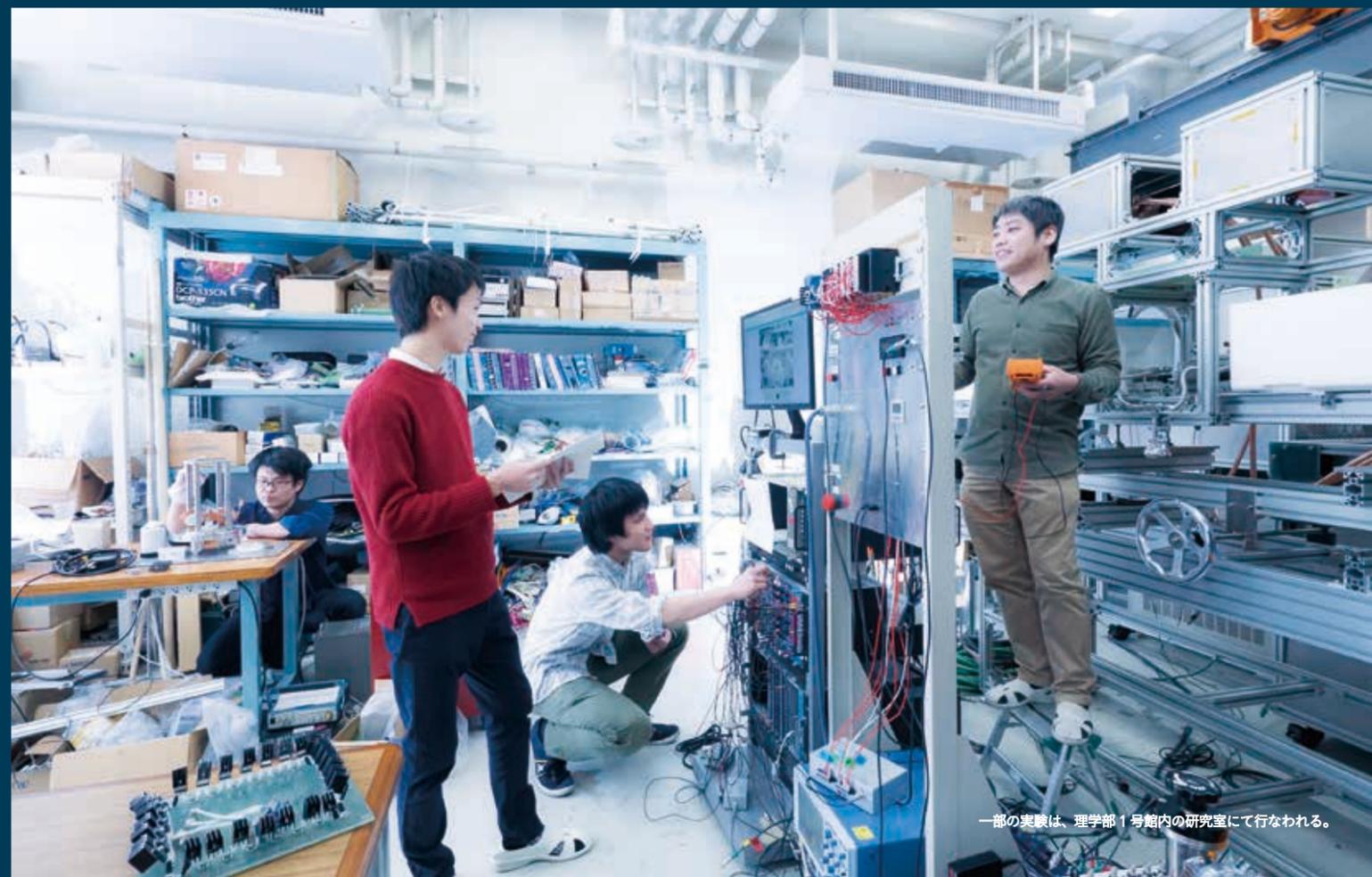


## ポジトロニウムの冷却実験



ポジトロニウム冷却実験装置。黒いガイドコイル中を左から導かれた陽電子ビームが、銀色のチェンバー中でポジトロニウムを生成する。右から紫外レーザーを照射することで、ポジトロニウムを冷却する。

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	令和3年度
研究室数	9	8	9	9	7	8	8	9
修士課程	24	24	19	18	16	17	21	20
博士課程	16	18	22	24	22	21	19	16
<b>合計</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>36</b>

### 学位取得の推移 (単位:人)

	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	令和3年度
修士課程	10	13	10	10	8	5	7	13
博士課程	3	1	6	6	2	8	7	2
<b>合計</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>

## 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。

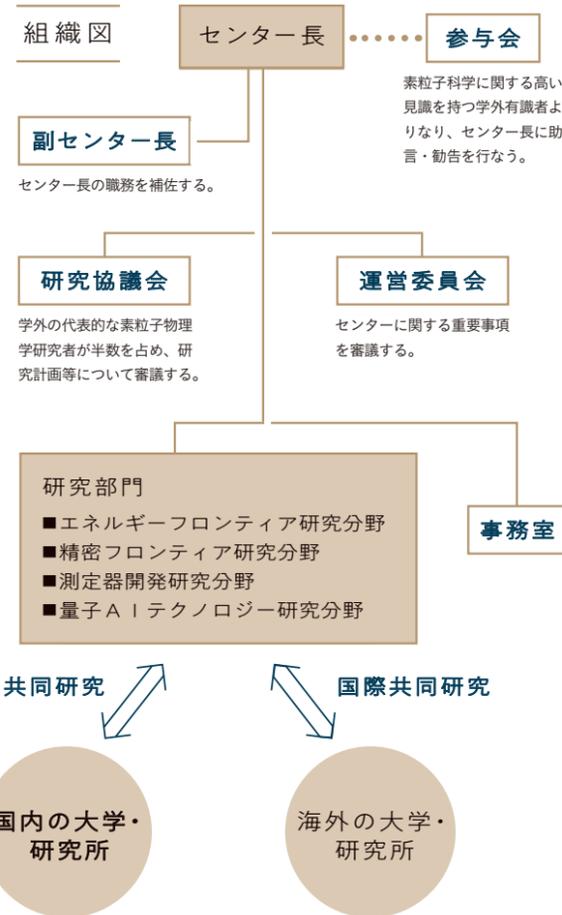
コーディネータの村山斉特別教授を中心に、本センター教員も含む国内外の教員約100名で、プログラム生の「未来社会と先端科学」の橋渡しを支援しています。



## 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

文部科学省採択の「東京大学グローバルキャンパスモデルの構築」の柱は、海外大学との緊密で特別な協力関係、「戦略的パートナーシップ」の確立です。関係部局が協力し、各大学との共同事業を大学全体で支援します。

本センターは、スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETHZ)、シカゴ大学、パリ・グランゼコール群とのプロジェクトに参加し、理学系・工学系・情報理工学系・宇宙線研究所等とともに分野横断的な交流を推進しています。ETHZと関係性の深いスイス・PSIでは、教育・研究の国際協力を一体的に進めています。MEG II実験をベースとした学生プログラムの共同運営のほか、学生交流や質の高い教育を実践し、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	11		1	3	
特任助教	7			6	
特任研究員	2			2	
特別研究員	1			1	
技術職員	1				
事務職員	5	5		2	
<b>合計</b>	<b>36</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

■本センターは、36人体制で運営しています(令和4年5月現在)。  
■若手研究者(※20代・30代)が約半数を占めています。

## 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表した

「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

# ICEPP UTOKYO / LAB GALLERY

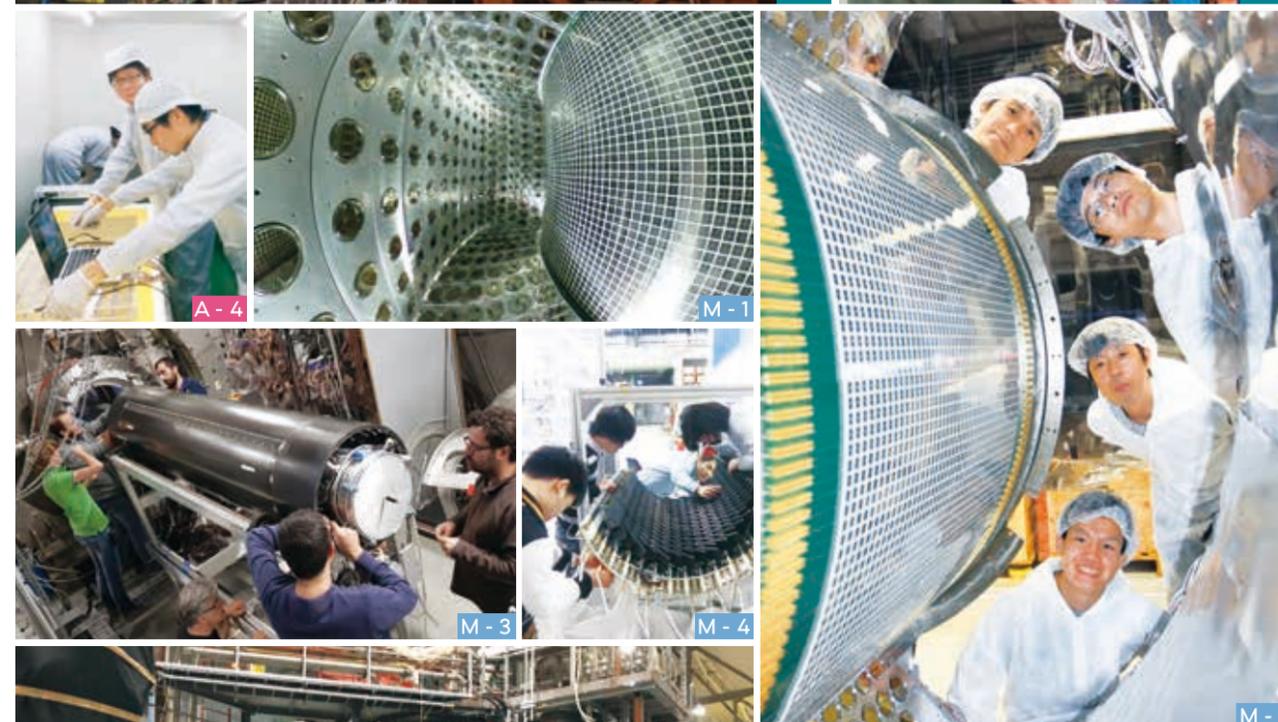
## 文部科学省認定「共同利用・共同研究拠点」として

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。令和3年度に2度目の認

定期間が終了し、拠点としての重点取組や研究成果、優れたリーダーシップが高く評価され（最高区分S）、令和4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実験も推進し、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。また、先端戦略分野の量子AIテクノロジー研究部門では学術的価値の創造と人材育成を一体的に進めます。



## 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。

## 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

## 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たっています。

## 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3年度で第28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。

## 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の写真左側は新開発した光センサーMPPC。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4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