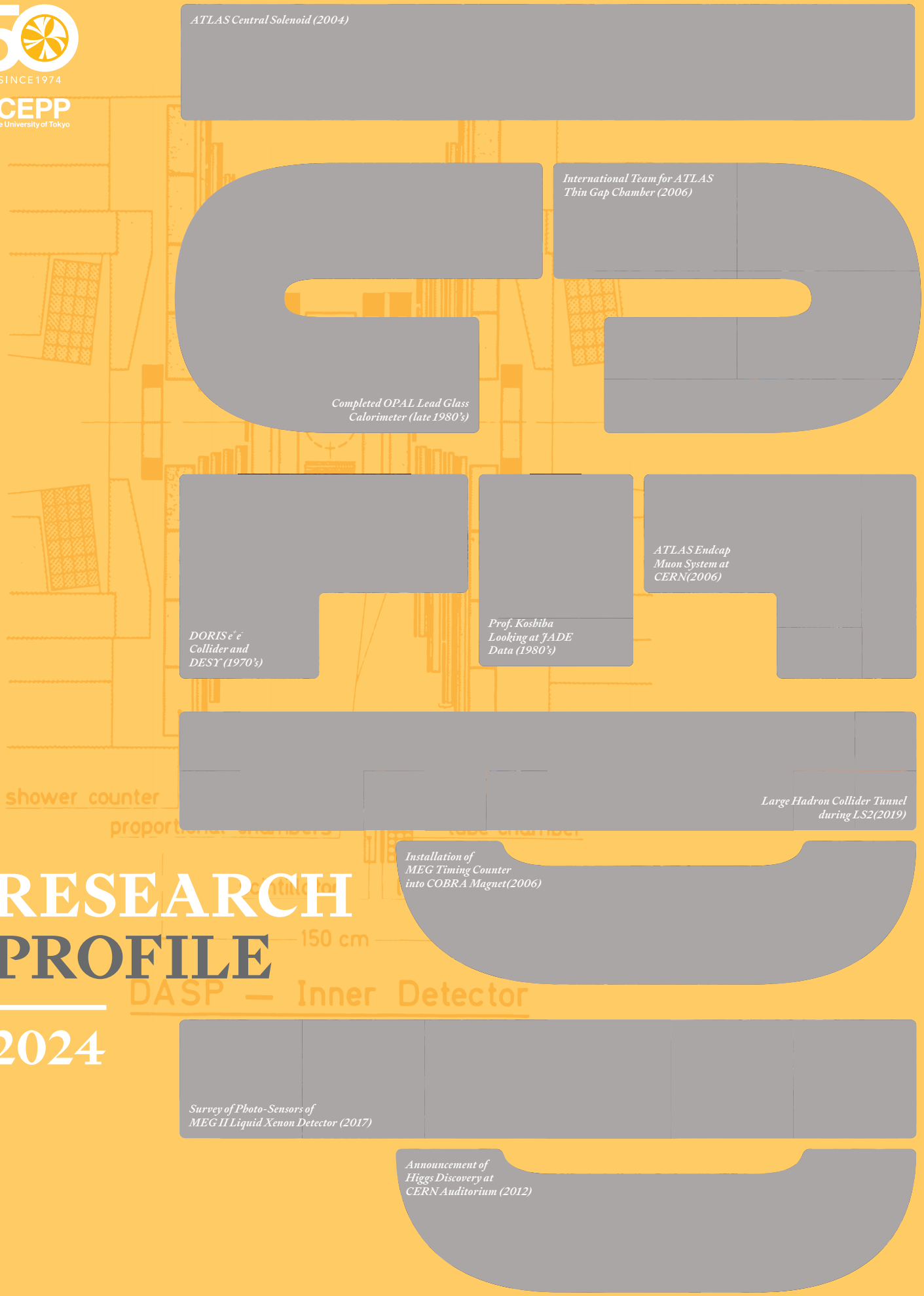
50 SINCE 1974

ICEPP
The University of Tokyo



RESEARCH PROFILE

2024

CONTENTS

03
DIRECTOR'S MESSAGE
素粒子・宇宙からの宿題に
素粒子物理学で答え、
人類の知に貢献したい

04
COVER STORY
宇宙と素粒子と研究者の
キャッチボール

10
HISTORY AND TREND
素粒子物理学の
“今”を読み解く

12
COLLABORATION
国際共同研究で新たな
物理学の地平を目指す

14
ATLAS Experiment
「真空・時空」の解明・初期宇宙の
進化への実験的アプローチ

16
MEG Experiment
MEG実験をさらなる高みへ
大統一理論の証拠を探る

18
QUANTUM Science
量子コンピュータが導く
未来の素粒子物理学

20
ILC Project
ヒッグス粒子の真空から
時空の謎に挑む

21
TABLETOP Experiment
多彩な技術で未知の物理現象を
探究する

22
COLUMNS
もっと知りたい！ 素粒子と実験装置の話

24
ICEPP UTOKYO
教育・組織概要

27
LAB GALLERY
ラボ風景

編集ディレクション　清水修(ACADEMIC GROOVE MOVEMENT)
取材・文　清水修
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　松本歩、鈴木あづさ(細山田デザイン事務所)
イラストレーション　Yo Hosoyamada
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

DIRECTOR'S MESSAGE

MASAYA ISHINO

素粒子・宇宙からの宿題に素粒子物理学で答え、人類の知に貢献したい

東京大学素粒子物理国際研究センター長
石野雅也

宇宙はどのようにその姿を変えてきたのか？　物質を構成する基本要素は何なのか？

人類の多くが考えたことのある問いに正面から向き合い、最先端の技術と無限のアイデアを総動員して解明しようとするのが、素粒子物理学です。

ICEPPの基幹プロジェクトであるLHC-ATLAS実験では、周長27kmの加速器を使い、世界中から集まる3,000人の仲間と共同研究をしており、典型的な大規模サイエンスの1つに数えられますが、最先端のサイエンスを切り拓くための必然的な発展形であると思います。2012年に発見したヒッグス粒子は、この宇宙の真空に関するサイエンスの扉を開け、まさに宇宙の進化・発展の姿についての理解を深め、新たな疑問も出ています。これが学問の進歩であり、今後もこのようなアウトプットを出し続けて、人類の知へ貢献したいと考えます。

ICEPPは量子計算機と量子センサーの応用研究にも取り組んでいます。大きな可能性を持つ量子技術ですが、量子現象そのものである素粒子のふるまいを表現するという応用例、量子センサーを使った新しい素粒子実験の研究、これらを通じて、量子計算機・技術の発展に貢献することを目指しています。

物理学の本質は、一見異なるように見える複数の事象に宿る本質的な部分を見極めることで、それらを統一的に理解する学問です。この基本的な概念を軸に研究を進め、素粒子・宇宙からの宿題に答えていきたいと思います。そして、そのために我々が開発する広い意味での技術とあわせて、人類の知に大きく貢献していくこと、それらを世界的な規模で実現できる人材を次々と送り出すことで、ICEPPの価値を更に高めていく所存です。

COVER STORY

ICEPPのミッションは素粒子物理という基礎科学

宇宙と素粒子と研究者のキャッチボール

宇宙に存在するすべての物質は、最小単位の「素粒子」が集まってできています。
そして、素粒子には4つの力が働いています。
重力、電磁気力、強い力、弱い力……。
これらの力は、「素粒子のキャッチボール」によって伝えられます。

素粒子物理学は、物質の基本単位「素粒子」を調べることで、
宇宙がどのように生まれ、発展してきたのかを研究する基礎科学です。
長い年月をかけ、物理学者たちは「理論と実験のキャッチボール」で
宇宙を支配する法則を発見してきました。

では、どのように宇宙の歴史や物理法則を解明するのか？
人類は「望遠鏡」と「加速器」という「タイムマシン」を手に入れました。
望遠鏡は遠くの宇宙を観測することで宇宙の進化を知る道具であり、
加速器は宇宙誕生時の高エネルギー状態をつくって、望遠鏡では見られない
宇宙の始まりを研究します。

初代施設長小柴昌俊先生が、国際的な加速器実験を手掛けるために
東京大学の研究グループを創設してから、今年で50年。
研究者どうしの知の「キャッチボール」で数えきれないほどの成果を上げてきました。

すべての人のためのサイエンス。
素粒子の、研究者どうしの、理論と実験の、「キャッチボール」によって、
ICEPPは新たな物理を切り拓き、未来をインスパイアしていきます。

STANDARD MODEL

標準理論

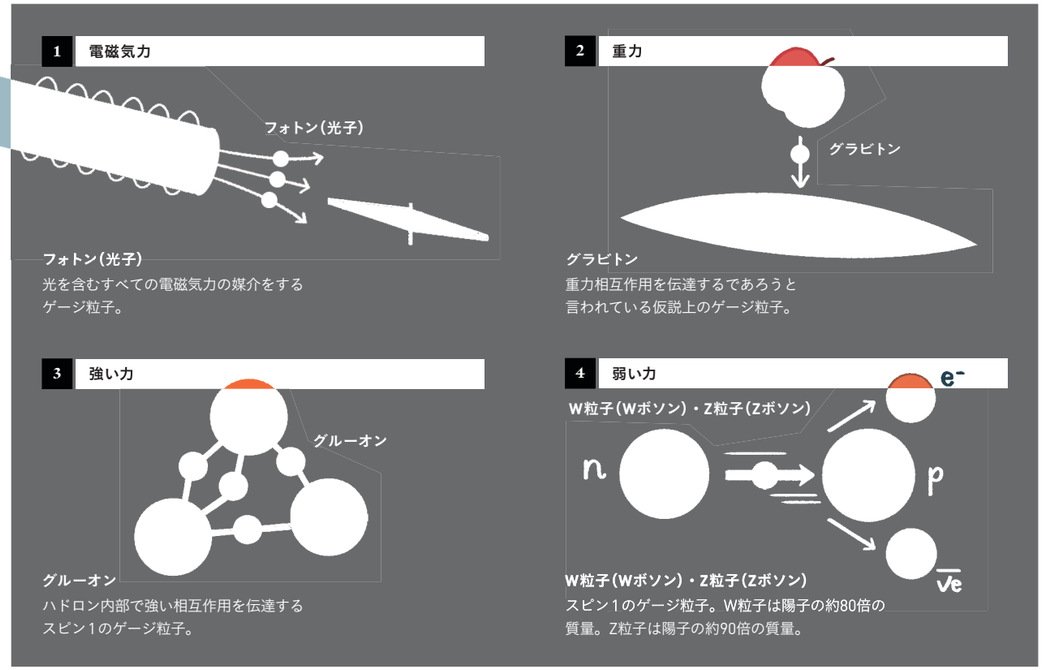
4つの力は素粒子のキャッチボール

20世紀の物理学の到達点と言われる標準理論には「物質を作っている素粒子」と「力を伝える素粒子」の2種類が登場します。

「物質を作っている素粒子」はフェルミ粒子と呼ばれ、フェルミ粒子として6つのクォークと6つのレプトンが見つかっています。フェルミ粒子でできあがった物質には、4つの力が働きます。モノが地面に落ちたり、私たちが地面に立っていられるのは「重力」によるもの。そして、磁石が引き合ったり、しりぞけ合ったりするのは「電磁気力」によるものです。また、陽子や中性子ががっちり結びついて原子核ができるのは「強い力」のおかげです。そして、地熱エネルギーのうちの一部は「弱い力」によって原子核が壊れた時に解き放たれたエネルギーです。

もう1種類の「力を伝える素粒子」はボース粒子と呼ばれ、この4つの力を伝える役割を担います。特に電磁気力、強い力、弱い力を伝える素粒子は、ゲージ原理と呼ばれる理論が予言するボース粒子で、ゲージ粒子と呼ばれます。また、どんなゲージ粒子が力を伝えるかもわかってきています。電磁気力を伝えるのは光子（フォトン）、強い力を伝えるのはグルーオン、弱い力を伝えるのはW粒子とZ粒子です。

物質は相手の物質とゲージ粒子をキャッチボールすることで力を伝え合っています。宇宙というグラウンドの壮大なキャッチボールは、目には見えない極小のボールでプレイされています。



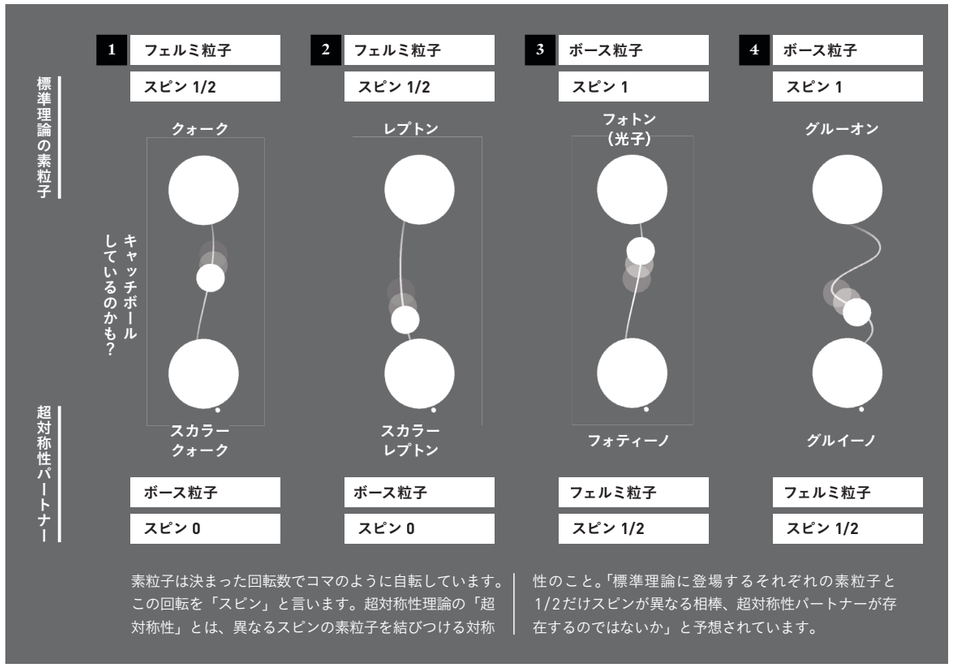
SUPERSYMMETRY THEORY

超対称性理論

まだ見ぬキャッチボールの相手を探せ

現在知られている高エネルギー実験のほとんどを矛盾なく説明することができる標準理論は、世界中の物理学者たちが長い年月をかけて、宇宙の姿や仕組みを理論的に予言したものです。これは、極大（宇宙）から極小（素粒子）までの世界全体を貫く理論ですが、理論だけでは説明しきれない、物理現象があります。そこで、物理学者たちは標準理論を超える理論的枠組みの最有力候補のひとつとして「超対称性理論」を考え出しました。この理論では、「きっと素粒子にはまだ私たちが見つけていない相棒がいるに違いない」というパートナーの存在を予言しています。クォークにはスカラークォークという「まだ見つかっていない相棒」がいるに違いない。同様にレプトンにはスカラーレプトンという相棒が（例えば電子にはスカラー電子という相棒が、ニュートリノにはスカラーニュートリノという相棒が）いるに違いないというわけです。そして、このまだ見ぬ相棒はこちらから投げたボール（ゲージ粒子）をキャッチしてくれるものと考えられています。現役の素粒子チームの各選手は、まだ見えない相棒とキャッチボールをしている可能性があるのです。その相棒を「世界で一番早く、実験で探し出したい」と願う研究者の熾烈な国際競争は続いています。

この「まだ見ぬキャッチボールの相手を探せ」という壮大なミッションが超対称性理論の実証実験には大きく作用し、高いエネルギースケールの実験が注目されているのです。



素粒子は決まった回転数でコマのように自転しています。この回転を「スピン」と言います。超対称性理論の「超対称性」とは、異なるスピンの素粒子を結びつける対称性のこと。「標準理論に登場するそれぞれの素粒子と1/2だけスピンが異なる相棒、超対称性パートナーが存在するのではないか」と予想されています。

素粒子物理学の進展

「理論と実験のキャッチボール」で少しずつ謎は解明されていく

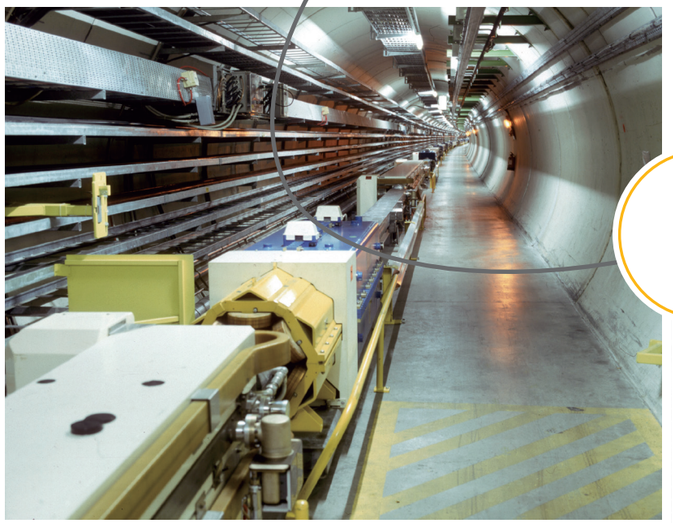
素粒子物理学者は統一された原理を構築すべく営々と研究を積み重ねてきました。理論が提唱され、それを実験で確かめる。その結果を受けて新たな理論が提唱される。そのような「理論と実験のキャッチボール」によって、宇宙の根源的な謎を解明してきました。

理論

素粒子は3世代あると予言した小林・益川理論

私たちの目に見える世界では、重力も電磁気力も左右の区別に関係なく同様に働きます。しかし、極小の世界の「弱い力」は左右反転すると違う働きをするという実験結果が出ました(パリティ対称性の破れ)。その後、この理由として「左右反転した粒子は反粒子だからだ」とされました(CP対称性)。ところがさらに、CP対称性も破れていることが実験で明らかになりました。そこで出てきたのが「小林・益川理論(1973年)」です。「素粒子は 3 世代あるはずだ。そう考えればCP対称性が破れていても良いことになる」という理論でした。

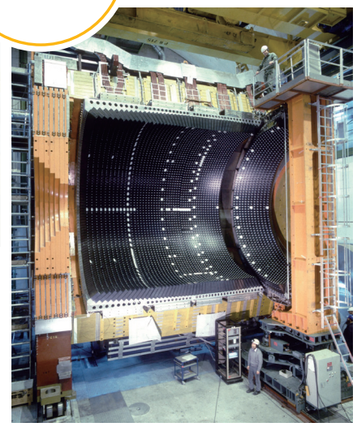
実験



LEP加速器

LEP加速器で行なわれたOPAL実験で証明

CERNのLEP加速器(1989年完成)は円周27kmの加速器です。4つの検出器(ALEPH、DELPHI、OPAL、L3)が設置され、このうち、OPALを用いた国際共同実験にICEPPの研究者が参加しました。OPALグループは小林・益川理論の予言通り、素粒子が3世代あることを実験によって突き止めました。

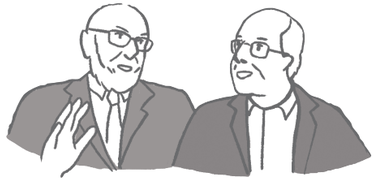


OPAL実験の検出器

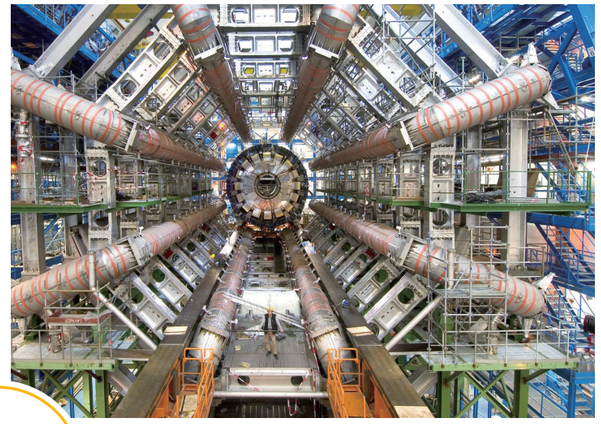
理論

ヒッグス機構で存在が予言されたヒッグス粒子

1964年、ヒッグス博士らによって質量の起源を説明する理論「ヒッグス機構」が提唱されました。「弱い力」を伝えるゲージ粒子(Wボソン・Zボソン)と12種類のフェルミ粒子に質量があることを自発的対称性の破れから説明するものでした。この理論では未知の素粒子「ヒッグス粒子」の存在が予言されていました。



ATLAS実験の検出器



実験

LHC加速器

LHC加速器で行なわれたATLAS実験とCMS実験で発見

2012年、CERNのLHC加速器を用いたATLAS実験とCMS実験でヒッグス粒子が発見されました。本センターの研究者たちはATLAS実験グループを主導し、教科書を変える発見に大きく貢献しました。

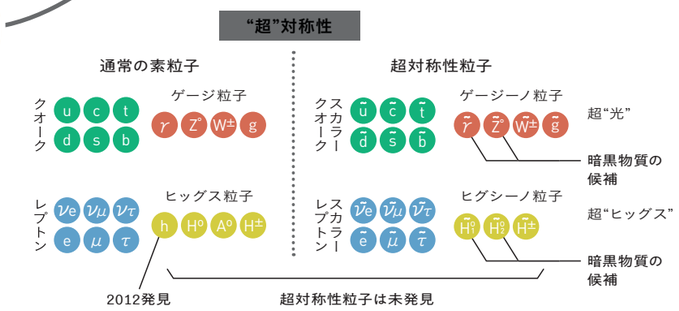
いまここ！

理論

研究者は超対称性理論の証明に挑む！

超対称性で考える利点

- 宇宙の暗黒物質の解明
- 力の大統一理論
- ヒッグス粒子が存在できる
- 小さい宇宙(素粒子) が見ている時空



写真はすべて©CERN

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。

01 原子の内部構造

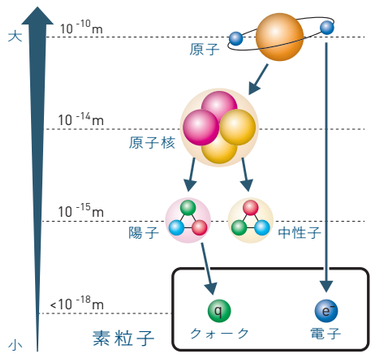
原子は素粒子でできている

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（p.22-1参照）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。



02 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」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。

標準理論に含まれる素粒子

03 標準理論の限界

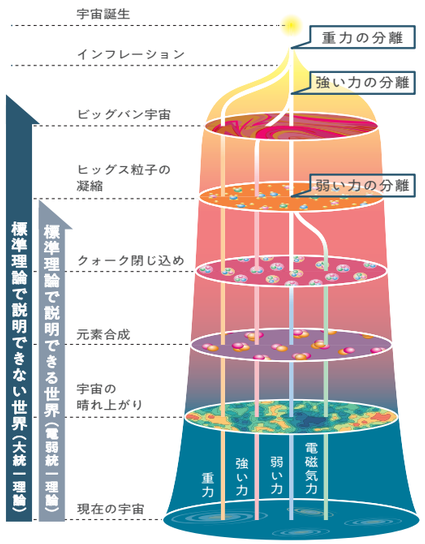
標準理論が直面するいくつかの限界

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。

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。



04 標準理論を超えて

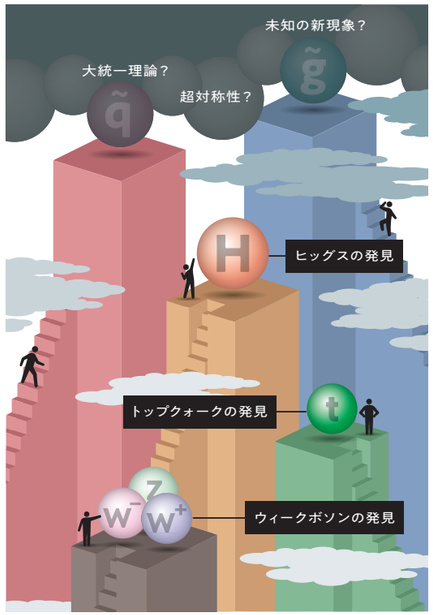
標準理論を超える究極の理論とは

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い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。



COLLABORATION

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、Tabletop実験（主に国内での研究）の４つの実験・計画と、先端戦略分野の量子AI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。

ATLAS実験

Page 14

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。2022年に第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

MEG実験

Page 16

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（ミュー）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、イギリス、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2022年に開始し、本格的なデータ取得により、世界に先駆けて前人未到の領域を探索します。

ポールシェラー研究所（PSI）©PSI

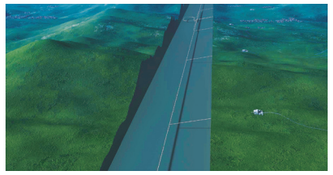
ILC計画

Page 20

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。この国際的なプロジェクトが実現すれば、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をもたらします。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。



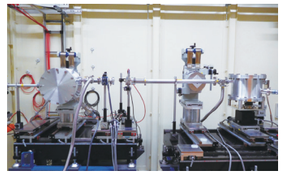
ILC 完成予想図 ©Rey.Hori

TABLETOP実験

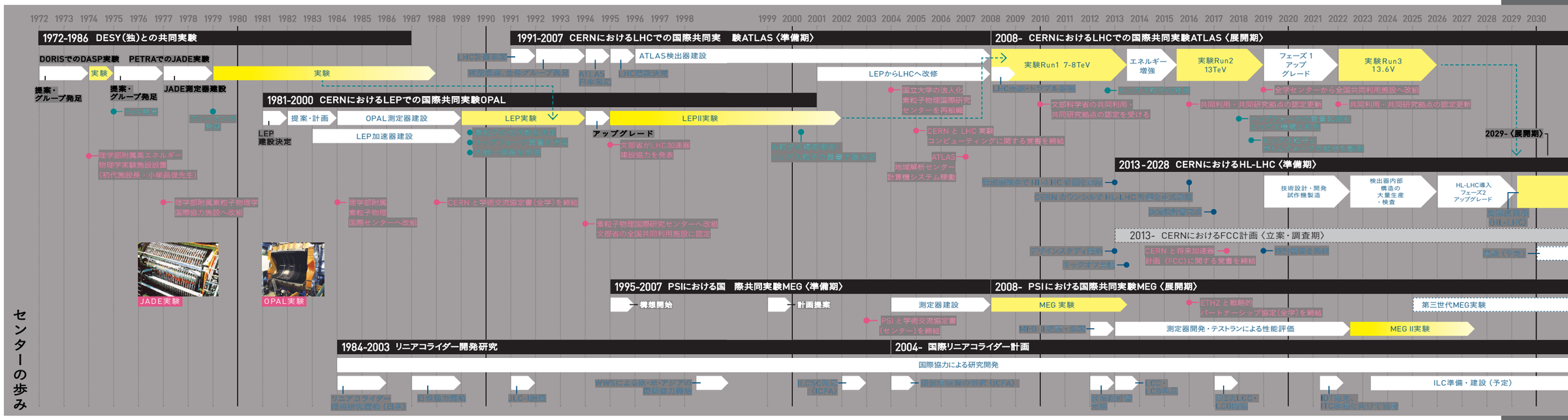
Page 21

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て実験を行ない、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



ATLAS Experiment

「真空・時空」の解明

初期宇宙の進化への実験的アプローチ

ATLAS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（p.22-1参照）。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年の第2期実験（Run2）には13 TeVで運転し、2022年から始まった第3期実験（Run3）では13.6 TeVに到達しました。

2019-21年の加速器運転停止期間中に、入射加速器群を大幅に改良した結果、年間蓄積データ量を大幅に増加できることが2022年度の運転で実証できました。Run3のデータを使って、暗黒物質（ダークマター）の候補となる超対称性粒子の発見や、ヒッグス粒子の自己結合定数の測定に向けた研究を加速させます。宇宙初期に生じたと考えられる宇宙進化の鍵を、直接的かつ実験的に研究していきます。

ATLAS実験は、世界42ヶ国から18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人の博士課程大学院生を含む約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150人が参加し、「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40人ほどの研究者・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4月の発足以来、実験の中心的役割を担っています。ATLAS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、ミュー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」（p.22-2参照）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のデータ取得・物理解析と並行して、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、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。これらの改善により、Run3完了時までに得られるデータ量の約10倍相当を蓄積することが可能となり、さらなる高感度探索、高精度の測定を進めていきます。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。

LHC加速器

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。

田中純一 教授

■ ATLAS日本グループ共同代表者（2024年4月より）
■ ATLAS Higgs H->γγ 解析グループ責任者（2011年10月より1年間）

略歴

2002年	博士（理学）
2004年	東京大学素粒子物理国際研究センター助手
2010年	東京大学素粒子物理国際研究センター准教授
2018年	東京大学素粒子物理国際研究センター教授

©CERN

MEG Experiment

MEG実験をさらなる高みへ

大統一理論の証拠を探る

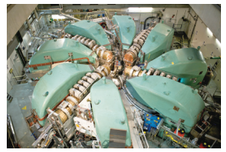
MEG実験とは、電子の仲間である「μ粒子」が、γ（ガンマ）線を放出しながら電子に崩壊する「μ（ミュー）→eγ（イーガンマ）崩壊」という事象を観測するための実験プロジェクトです。「μ粒子」とは、電子と性質がほぼ同じで電子の200倍の質量を持つ「荷電レプトン」に属する素粒子のことです（p.11参照）。μ→eγ崩壊は、「標準理論」では起こりえないと考えられていますが、宇宙の始まり（ビッグバン）を包括的に説明する「超対称大統一理論」（p.11参照）では、数千億～数十兆回に１回程度という非常に小さな確率で起こることが予言されています。その観測に成功すれば、超対称大統一理論の実証になります。一方、観測されなければ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、英国の研究者たちが加わり、約70人体制でスイスのポールシェラー研究所（PSI）を拠点に研究を行なっています。

きわめて稀にしか起こらないμ→eγ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（電子の反粒子でプラスの電荷を持つ、e+）を計測する「COBRA陽電子スペクトロメータ」や、γ線を測定する「液体キセノンγ線測定器」をはじめ、実験の主要部分を担当するとともに、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、μ→eγ崩壊は3.2兆回に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を厳しく制限するものであり、さらに高い精度で新理論の妥当性を検証することが急務となっています。そのため測定器性能を大幅に改善し、PSIの最大ビーム強度を最大限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μ→eγ崩壊が起こるかを確かめるアップグレード実験MEG IIを、2022年から開始しました。すでにMEG 実験の探索感度を凌駕するデータを得ており、今後３、４年程度で目標とする実験感度に到達する見込みです。

μ→eγ崩壊がMEG II 実験で発見されれば、次はその詳細研究が必要です。PSIではさらに100倍多くのμ粒子を作り出せる新しいビームラインが2028年から稼働予定であり、そこで実施する次世代実験の検討が、本センターの研究者を中心に国際的に始まっています。本センターはMEG・MEG II 実験によって、素粒子物理学の新分野「荷電レプトンフレーバー物理」を切り拓きました。μ粒子など荷電レプトンを使って新理論を検証する研究です。 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を一堂に集めた国際研究会の開催など、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。



陽子
サイクロトロン

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。

©PSI

森 俊則 教授

■ JAHEP（高エネルギー物理学研究者会議）委員
■ MEG・MEG II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 Collaboration

QUANTUM

量子コンピューティングが導く未来の素粒子物理学

Science

量子コンピュータには、古典コンピュータよりもはるかに高速に解ける問題があることが知られています。古典コンピュータが情報を0か1の「ビット」で処理するのに対し、量子コンピュータでは0と1だけでなく、0でも1でもない状態を「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、原理的には1,000兆通りもの状態を同時に表現することが可能です。この表現能力の高さはミクロな実体としての量子の波動性を利用したものです。本センターが取り組む素粒子実験はまさにミクロな粒子としての素粒子を扱っており、その素粒子の複雑な振る舞いを量子コンピュータを使うことで上手く計算できるようになるのではないかと考えています。現在の量子コンピュータは実用的な問題を解くには課題も多いですが、400個を超える量子ビットを備えた量子コンピュータも実現されており、将来に備えた準備が急務です。

本センターは主に3つのテーマで研究を進めています。1つ目は「量子AI（人工知能）の研究」です。AIという言葉は多義に使われますが、素粒子実験では特に機械学習を指します。加速器が作る大量のデータから、シグナル（未知の粒子を含む現象）とバックグラウンド（すでに存在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、そうした解析には機械学習技術が必須です。2029年開始予定の高輝度LHC実験ではデータ量がさらに一桁以上増えるため、量子コンピュータを活用した量子機械学習が期待されています。2つ目は「素粒子反応の量子シミュレーション研究」です。加速器の中ではさまざまな素粒子が生成され、それらが別の素粒子へと変換・崩壊する過程を起こします。こうした反応過程には、量子コンピュータによって古典計算よりも非常に効率的にシミュレートできる部分が含まれています。現在の量子コンピュータを使ってその基礎反応を計算する手法を研究し、より複雑な多次元反応へと拡張する取り組みを進めています。3つ目は「量子コンピュータのハードウェア研究」です。開発した量子AIアルゴリズムや量子シミュレーションを量子コンピュータで動かすには、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。専用超伝導量子ビットの開発やその物理実験への応用、最低3準位を利用した量子トリット制御の実装など、ハード面からの研究開発も進めています。

一連の研究は、LHC-ATLAS実験を基点に国際共同研究で進めています。米国のLBNLとFermilab、シカゴ大学、スイスのCERNの4つが大きな軸となっています。また、本学が2019年に締結したIBMとのパートナーシップに基づき、知識集約型社会へのパラダイムシフトを目指す「東京大学量子イニシアティブ構想」にも関わっています。基礎研究から技術実証、オープンイノベーション、人材育成に至るまで産学官で取り組み、国際的な連携と新たな戦略で未来に繋げる時代に突入しています。

IBM Quantum System One

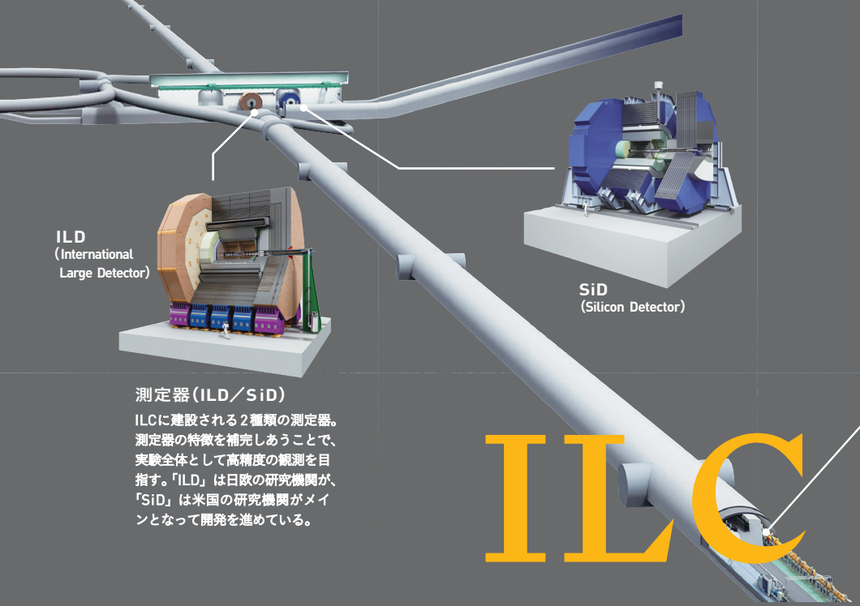
IBMと始動させた日本初の商用量子コンピューティング・システム。

寺師弘二 教授

■ CERN Quantum Technology Initiative プロジェクトコーディネータ
■ 量子技術イノベーション拠点推進会議 国際連携分科会委員

略歴

2000年 博士（理学）、米国ロックフェラー大学高エネルギー物理学研究室研究員
2007年 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
2009年 東京大学素粒子物理国際研究センター助教
2021年 東京大学素粒子物理国際研究センター准教授
2024年 東京大学素粒子物理国際研究センター教授



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。

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。

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。

ILC

ヒッグス粒子の真空から　時空の謎に挑む

ILC（国際リニアコライダー）は、全長約20 kmの線形加速器です。電子と陽電子（電子の反粒子）を加速し、最高エネルギーで衝突させ、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は素粒子物理の次世代基幹プロジェクトであり、2030年代後半の稼働を目指しています。CERNのLHCは複合粒子である陽子どうしを衝突させるのに対し、素粒子である電子と陽電子を衝突させるのがILCの特徴です。複合粒子と素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、衝突の際に多くのゴミが出ますが、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(p.23-4参照)。ヒッグス粒子を詳しく調べるには、大量に生成できる「ヒッグス・ファクトリー（工場)」加速器が必要です。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、軽い暗黒物質の探索など、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ています。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、最終設計完了・建設開始に向けた準備が進んでいます。IDT科学セクレタリに大谷航准教授、国内のILC推進母体であるILC-Japanに石野雅也センター長がスポークスパーソンに率いています。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の日本誕生に向けて、本センターの研究者も力を合わせて取り組んでいます。

大谷 航 准教授

■ ILC国際推進チーム（IDT）
科学セクレタリ

略歴

1998年	博士（理学)、理化学研究所基礎科学特別研究員
2000年	東京大学素粒子物理国際研究センター助手
2007年	東京大学素粒子物理国際研究センター助教
2010年	東京大学素粒子物理国際研究センター准教授

Project

TABLETOP

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。特殊な粒子ビームや特別なセンサーを開発・利用することで、大型加速器では難しい実験を高い精度で行ないます。

「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（コヒーレント状態)。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。現代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。

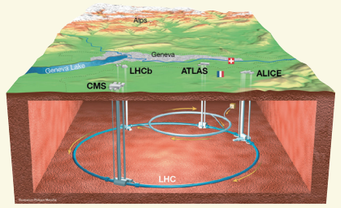
電子の反粒子である陽電子のビームを使い、「反物質を含んだコヒーレント状態」を作る実験も行なっています。陽電子と電子が対となった準安定な複合粒子であるポジトロニウムは、密度を高めて冷却すると、単一な量子状態に縮退すると考えられています（ボース・アインシュタイン凝縮)。この状態を作り出せれば、物質と反物質の対称性を詳細に調べたり、ガンマ線レーザーの源として利用することができます。ポジトロニウムに特殊な紫外線レーザーを照射し、世界初のレーザー冷却を行なうことに成功しました。現在、密度を高めるために、ポジトロニウムを封入する物質の開発を進めています。いろいろなアイデアで、世界最高レベルの感度の実験を行なっています。

Experiment

もっと知りたい！ 素粒子と実験装置の話

1 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㎞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90㎞、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。

2 物理解析の一翼を担うATLAS地域解析センター

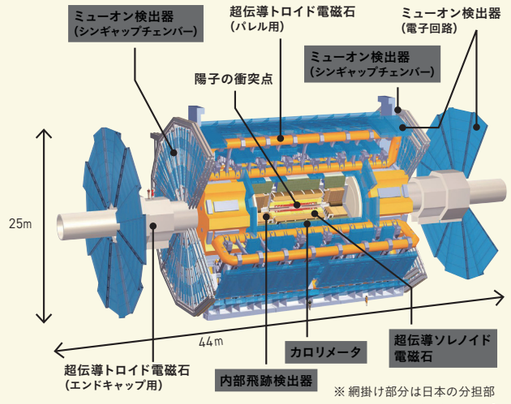
「ATLAS地域解析センター」は、本学に設置されたATLAS実験のデータ解析拠点だ。CERNの計算機センターを頂点（Tier 0）に、世界42カ国170の研究機関のシステムが階層構造で配備された「WLCG（世界LHC計算グリッド）」の一部を担う。その計算機資源は、Tier 2と呼ばれる階層で世界最大規模を誇り、ATLAS実験の全メンバーに開放されている。

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。2023年度の実績で、国内の研究機関に所属する利用者は110人、外国の研究機関に所属する利用者は1,000人に及ぶ。

3 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。なかでもミューオン検出器（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。ミュー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、ミューオンは重要な手掛かりであり、ミュー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

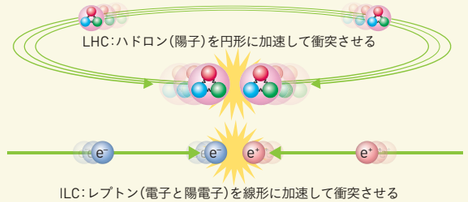


※ 網掛け部分は日本の分担部を示す。カロリメータはアップグレード実験に向けた追加開発。

4 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陽子のような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」加速器には本質的な制約がある。電子や陽電子は質量が軽く、曲がる際に放射光を出してエネルギーを失ってしまう。そのため、最高エネルギーの円形加速器はハドロン型となっている。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。

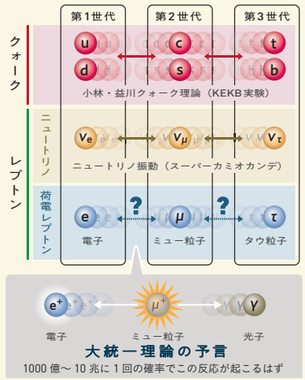
ILCのように、線形のレプトン型の加速器で、TeV（テラ電子ボルト）単位の高い衝突エネルギーを実現するのは、素粒子物理の研究者たちの長年の夢である。



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。

5 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。



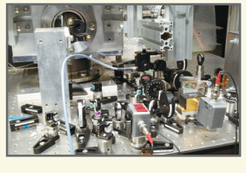
クォークとニュートリノでは、世代混交（フレーバー転換）が起こることが確認されている。MEG実験では、荷電レプトンでも稀に（十兆回に一回程度）世代混交が起こる（荷電レプトンフレーバー保存の破れ）とする「超対称大統一理論」の検証を目指している。

6 光による真空の歪みの検出

真空回折実験の集光部分

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。

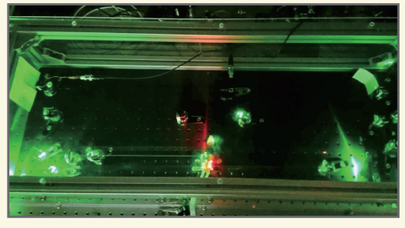
真空複屈折実験の検出部分



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。

7 ポジトロニウムの冷却実験

ポジトロニウム冷却用レーザー生成装置



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。

ポジトロニウム冷却実験装置

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。

※ 上記6・7はTABLETOP実験（p21参照）で使用する実験装置です。

ICEPP UTOKYO

学問と未来を広く俯瞰できる教育研究体制

逞しき「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)

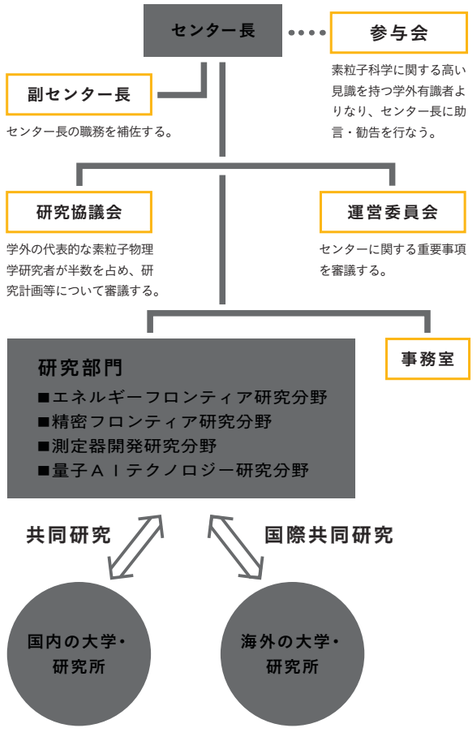
	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和1年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
研究室数	9	9	7	8	8	9	8	8
修士課程	19	18	16	17	21	20	18	23
博士課程	22	24	22	21	19	16	17	17
合計	41	42	38	38	40	36	35	40

学位取得の推移

(単位：人)

	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	令和4年度	令和5年度
修士課程	10	10	8	5	7	13	7	10
博士課程	6	6	2	8	7	2	4	1
合計	16	16	10	13	14	15	11	11

組織図



組織人員

(単位：人)

		内訳			
	現数	女性	外国人	若手	客員
教授	4	0	0	0	4
准教授	3	0	0	1	1
特任准教授	1	0	0	0	0
助教	11	0	1	3	0
特任助教	7	0	2	6	0
特任研究員	4	0	3	4	0
技術職員	1	0	0	0	0
事務職員	6	6	0	2	0
合計	37	6	6	16	5

■本センターは、37人体制で運営しています（令和6年6月現在）。
■若手研究者（※20代・30代）が約4割を占めています。

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（リサーチアシスタント）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。

次世代研究者挑戦的研究プログラム

グリーントランスフォーメーション（GX）を先導する高度人材育成

2021年秋より理学系研究科が開始した国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の事業で、東京大学のすべてのアセットを投入し、GX実現に向けて活躍する人材を広範囲な専門分野で規模感をもって輩出することを目的にしています。GXに関する俯瞰講義、全学レベルの学生交流を通じて自らの研究とGXの関係を見出すグリーン未来交流会、多様な分野の最先端研究とGXの関わりを気づかせるGXインスパイア講義の3つの基幹プログラムのほか、高度スキル養成プログラムもあり、充実の支援体制が取られています。毎年、公募制でプロジェクト生を募集しており、採択された本センター研究室の大学院生は自らの研究とGXのつながりに対する観察力や洞察力を高めるとともに、好奇心をもって挑戦的・創発的研究に取り組んでいます。

COLUMNS

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

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

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

ICEPP The University of Tokyo

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

学問と未来を広く俯瞰できる教育研究体制

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 （p.22-2参照）
- 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**
- 理論・実験合同研究会（年2～3回、下記参照）
- コンピューティングスクール（下記参照）

■ **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**（下記参照）
  素粒子物理学分野の研究者（特に大学院生）どうしで交流を深めるため、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
■ センター見学（下記参照）、アウトリーチ活動等

素粒子理論・実験合同研究会

素粒子物理学を中心に、卓越性の高い研究分野をテーマにした研究会を年に数回開催し、理論と実験の国内外の研究者間で情報交換や議論を行なう場を設けています。大学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。

粒子物理コンピューティングスクール

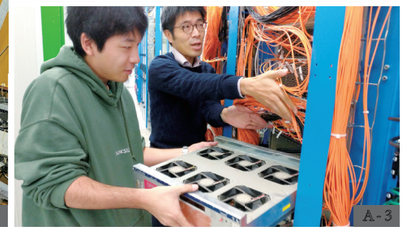
大量のデータを扱う大規模物理実験では、コンピューティングの高度利用が不可欠です。KEK（高エネルギー加速器研究機構）や全国の大学とともに、次代の研究者のためのスクールを平成29年度より開催しています。多変量解析や機械学習、検出器シミュレーションなどの先端ソフトウェア、グリッドやクラウドなど分散コンピューティング技術を学習できます。

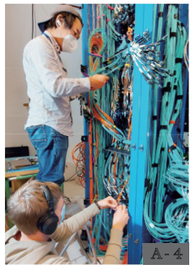
ICEPPシンポジウム

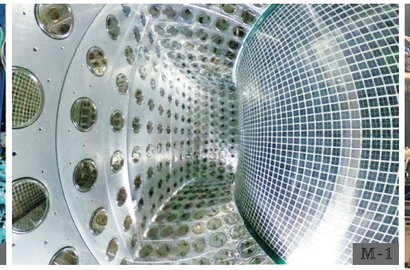
全国の大学で物理を学ぶ大学院生を対象に、独自のウィンタースクールを毎年2月に実施しています。素粒子・原子核・宇宙物理など、分野の垣根を越えて学生が一堂に集い、多様な研究成果を発表し合います。令和5年度で第30回を数え、さまざまな交流が生まれています。

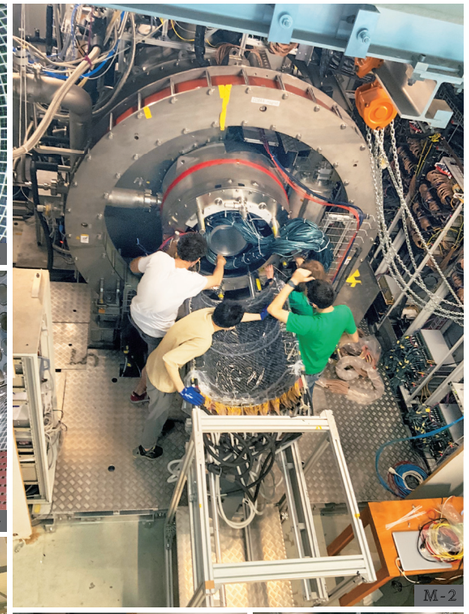
センター見学

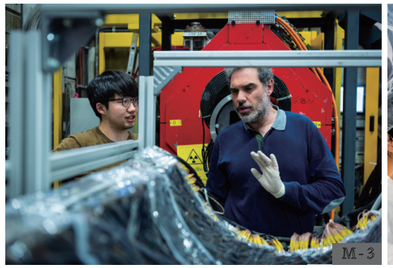
これから大学進学を目指す方々を対象に、センターの見学会を開催しています。教員による模擬講義では、素粒子物理学の基礎知識や学問的な意義、センターが取り組む国際共同実験などを分かりやすく説明します。見学者には大学のキャンパスを体感できる機会となり、大変好評です。

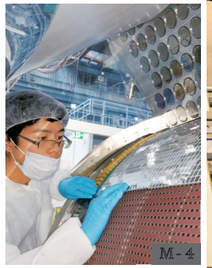


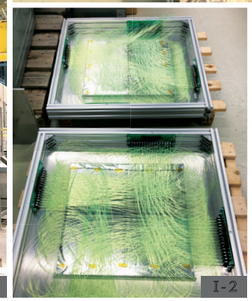


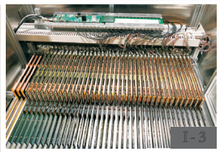












ATLAS

A-1 冬のLHC運転停止期間を経て、2023年春にデータ収集が再開される直前のATLAS検出器。A-2 CERNの超伝導マグネット試験施設（SM18）でのHL-LHCプロジェクトの専門家ら。A-3 第3期実験で導入したミュー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 液体アルゴン（LAr）カロリメータの光ファイバーケーブルのラベル取付作業。

MEG

M-1 M-4 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-4の写真手前が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-2 2018年に全測定器が完成し、ビームエリアに設置されるMEG II実験装置。M-3 陽電子の発生時刻を測定するタイミングカウンターの改修風景。

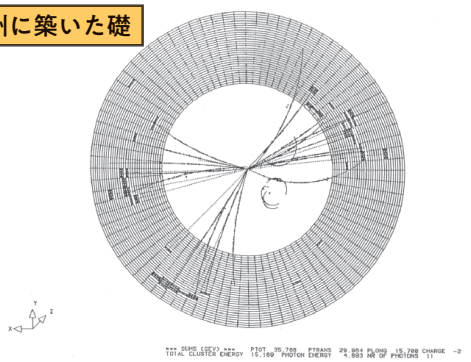
ILC

I-1 ILD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ビーム試験。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。世界から研究者が集まった。

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

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

素粒子物理国際研究センターが欧州に築いた礎



JADEで観測した3ジェット事象：衝突反応から3本の粒子の束（ジェット）が飛び出しており、グルーオンの発見となった。

1974年11月、素粒子物理学に「11月革命」が起こりました。米国のBNLとSLACでほぼ同時にJ/ψという新粒子が発見され、世界中の研究者が素粒子物理学の新たなパラダイムの始まりを確信したのです。ちょうどその年、小柴昌俊先生によって設立されたICEPPの前身の研究施設は、8月からドイツ・DESYのDORISコライダーでDASP実験に着手しており、すぐさま「革命」に参加して、チャームクォークから成るさらなる新粒子の発見に貢献しました。その後、よりエネルギーの高いPETRAコライダーが完成すると、主要グループの一つとなってJADE実験を開始しました。ここでは3ジェット事象の観測により、強い相互作用を媒介するグルーオンの存在を確立しました（上図）。記念すべき1979年の国際会議では、JADEを代表して折戸周治元センター長がその報告を行なっています。この成果は1995年7月に欧州物理学会特別賞となりました。東京大学の研究グループはその後、スイス・CERNへ拠点を移し、ヒッグス粒子の発見など、エネルギーフロンティア研究の先頭を走り続けてきました。すべては初代施設長小柴先生の先見の明によって切り拓かれたものであり、今日、50年目のICEPPがあります。

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6年6月26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