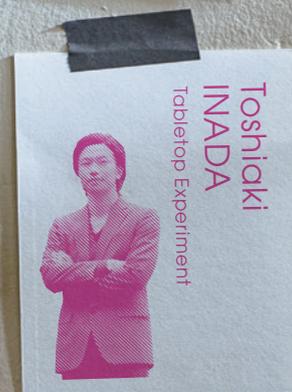
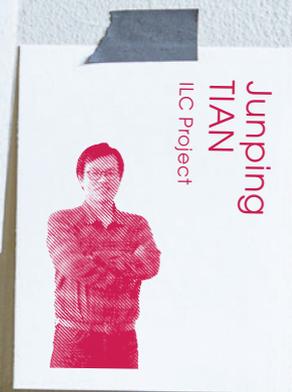


物理学を切り拓く、  
若き力



# 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

2020 大学院進学案内





## 素粒子物理学を 志す君たちへ

東京大学素粒子物理国際研究センター長

浅井祥仁

Shoji ASAI

本センターは、世界最先端の素粒子物理学実験を行なうための研究施設です。1974年の創設以来、日本の中核をなす研究拠点として国際共同研究に力を入れ、2つの軸で素粒子物理学の研究と教育を進めています。

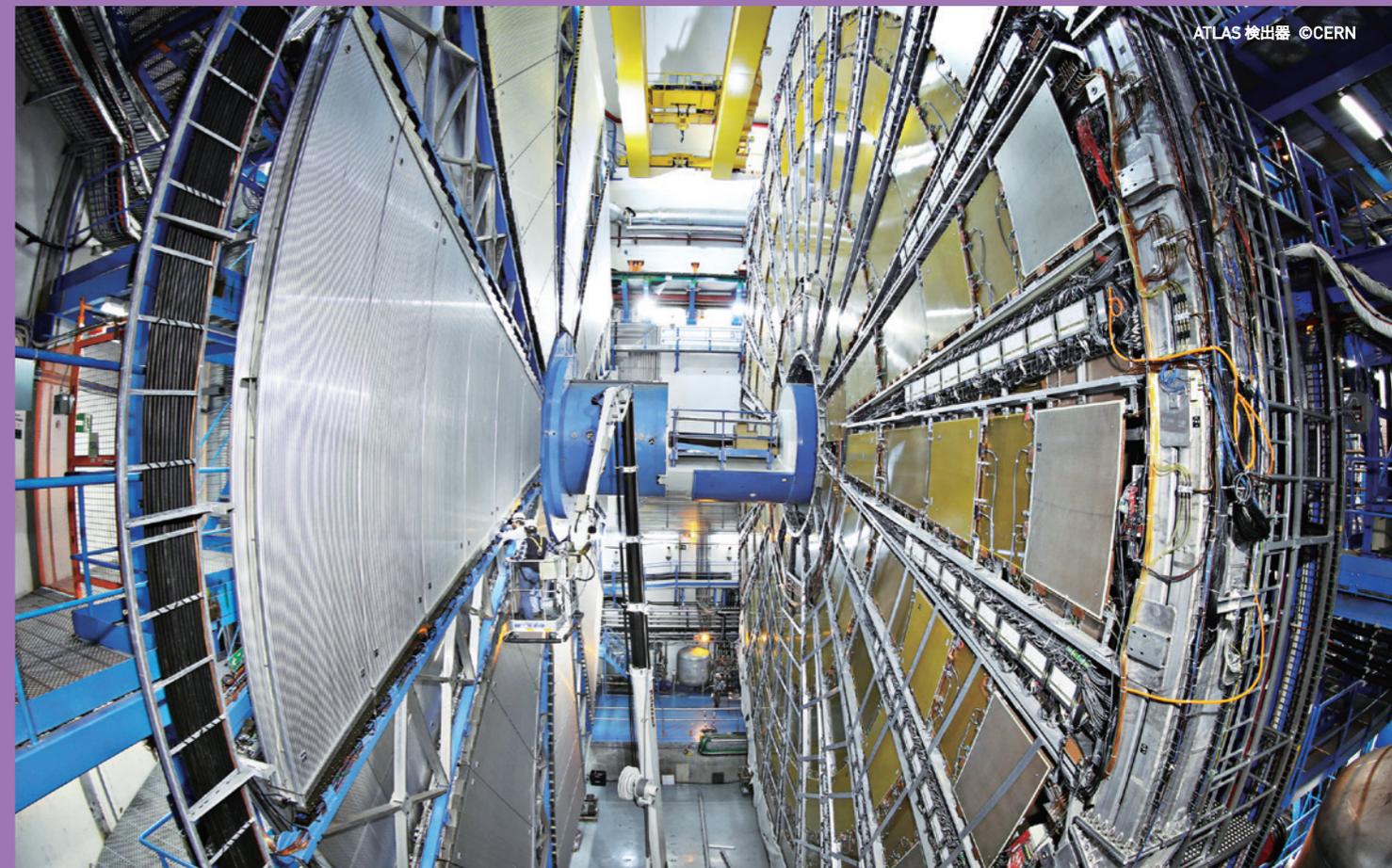
ひとつの軸は、「エネルギーフロンティア」と呼ばれる大型・高エネルギー実験施設での国際共同研究に、日本人研究者が主導権を持って参加することです。2012年7月の、CERNのLHC-ATLAS実験でのヒッグス粒子発見は、その最大の成果です。「エネルギーフロンティア」をさらに切り拓くと期待されるILC計画にも、世界を主導する立場で取り組んでいます。

もうひとつの軸は、独自の知見と斬新な発想で研究分野そのものを開拓し、本質的な物理に特化した実験を行なうアプローチです。この系譜に連なるPSIでのMEG実験からは、多くの研究者が育

ち、世界を舞台に活躍を見せています。

長期・大型の実験プロジェクトが多い素粒子物理の分野では、育成現場にも長期ビジョンが求められます。世界一流の研究者と対等以上に渡り合える人材を継続的に輩出するのも本センターの重要な目標です。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場を設けています。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、大学院修士課程以降の学生を受け入れ、指導にあたります。

素粒子物理学の研究は、世界が舞台です。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。日本の、そして世界の素粒子物理学の次代を担う気概を持った君たちの、果敢な挑戦を心待ちにしています。



ATLAS 検出器 ©CERN

# ATLAS Experiment

## 素粒子物理学の次なる次元へ

**素** 粒子物理学の「エネルギーフロンティア」の最前線、宇宙の起源と基本法則の解明を目指す。それがATLAS実験の本質的な目的だ。ヒッグス粒子発見に大きく貢献した。

舞台はスイスのCERN（欧州合同原子核研究機構）。世界の素粒子物理学研究者の半数以上（約1万人）が集結する、紛れもない世界最高水準の研究拠点だ。そのCERNが誇る世界最高エネルギーの加速器LHC（大型ハドロン衝突型加速器）を用い、宇宙と物質の原初の姿に迫る。

2013年2月に第1期実験を終え、2015年6月から第2期実験を実施。現在はLHCの運転を止め、エネルギーをさらに増強する第3期実験の準備が進む。その先には、粒子の衝突頻度を高める「高輝度LHC（HL-LHC）」の計画も進行中だ。第4期実験以降、LHCの当初デザイン値の数倍に及ぶ高感度測定が可能になる予定だ。

本センターは1980年代からCERNの国際共同実験に参加し続け、今も研究者や学生をCERNに派遣している。

## 研究室

浅井祥仁 教授  
〈理学系研究科〉

CERNのLHCでは、2015年から2018年末にかけて第2期運転が行なわれました。ATLAS実験で、2018年に過去最高の積分ルミノシティに到達したのは想像以上の成果です。2021年には第3期運転が、2027年には高輝度LHC (HL-LHC) が計画され、さまざまな準備が進んでいます。いずれも、物理学の教科書を書き換える

大発見に向けた実験計画です。

ATLASコラボレーションでは、2015年に日本グループ共同代表に、現在は組織全体の執行委員にも就いています。日本陣営がヒッグス粒子発見に継ぐ貢献を果たせるよう、国際的な激しい競争の中で研究をリードしていきます。

第2期実験で得られた大量のデータを解析するにあたり、研究テーマの中心となるのは「超対称性粒子」です。他の研究室とともに物理解析を行ない、標準理論を超える新物理の発見を目指して、超対称性粒子をはじめ、余剰次元の探索にも力を入れています。



## 真下哲郎 准教授

LHCの世界最高エネルギーでの実験は、データの収集や解析にチャレンジングな技術が求められます。ATLAS実験で得られるデータ量は、高い衝突エネルギーと頻度により未曾有の規模に及び、単一の計算機システムが処理可能な水準を大幅に超えています。

そのため、世界150以上の研究機関の

システムを広域ネットワークで接続し、ミドルウェアと呼ばれる共通のソフトウェアを導入して、あたかも単一の計算機システムのように扱える計算グリッド技術が導入されています。CERNの計算機センターを頂点 (Tier 0) に、階層構造で配備されたシステムは「WLCG (世界LHC計算グリッド)」と呼ばれ、世界初の実用レベルで配備されたグリッド技術です。日本では、2007年1月に本センターで稼働開始した「ATLAS地域解析センター計算機システム」(Tier 2) がその役割を担い、国内外の研究者コミュニティに計算機資源を提供しています。



## 研究室

## 石野雅也 教授

ヒッグス粒子の発見により「素粒子の標準理論」が完成し、その向こうに広がる大きな物理 (より高次の対称性や真空の性質の理解) を明らかにするスタート地点に立ちました。世界最高エネルギーの加速器LHCを使ったアプローチは次の新発見への王道です。加速器の性能向上により、未知の相互作用の同定や新粒子の

発見の可能性は大きく高まります。

そのためには、加速器の性能向上に見合った検出器システムの構築が必須です。特に、新粒子が生成された場合にその事象を逃がさずに記録できるトリガーシステムは、これまでも、そしてこれからも実験成功の鍵を握ります。最新のエレクトロニクス技術を導入し、実験開始以来10年間使用してきたシステムを完全に置き換える準備を着々と進めています。

これらの新しい物理の探求と、それを可能にする技術的な研究を通じ、大学院生が次代を担う研究者として飛躍できるような人材育成にも力を入れています。



## 研究室

## 奥村恭幸 准教授

新物理の兆候を実験データから見つけるべく、ATLAS実験に参加し、国際協力・国際競争の中で研究を展開しています。実験データの精査を通じ、「現在の素粒子理論とは矛盾するが、多くの新物理模型により予言される新現象」、たとえば「未知の共鳴状態」、「カラー荷を持つ新粒子の対生成」などの仮説を多角的

に試験し、大量の実験データに潜むわずかな新物理の兆候を探ります。

データ解析に加え、ATLAS実験装置システムの運用・改良研究、次世代高速トリガー回路の開発など、多岐にわたる研究も進めています。ハードとソフトの両面から、LHCでの新物理発見の可能性を最大限に高めることが目標です。

研究は日進月歩。日々生じる問題と向き合い、みなで知恵を絞ってアイデアを出し、限られた時間内に解決する。小さくとも確実な一歩を、スピード感を持って進めていく。そんな研究をCERNの実験現場で目一杯楽しみましょう。



## 研究室

## 田中純一 教授

ATLAS実験に参加し、新物理を探求しています。研究テーマは大きく3つです。まずデータ解析です。標準理論を超えた物理の直接的な手掛かりを求め、2つ目のヒッグス粒子や超対称性粒子の探索など、新しいアイデアで取り組んでいます。検出器のアップグレードに向けた研究開発も大きなテーマです。現在、液体ア

ルゴン電磁カロリメータのトリガー読み出しのコミッションング、エネルギー計算のためのFPGAファームウェアの開発などを行なっています。2021年以降は新しいテーマにも挑みます。

コンピュータ科学も、物理解析で重要なテーマです。2027年度からの高輝度LHCや将来の大規模実験では、解析データ量が膨大に増えます。そうした事態に備え、人工知能や量子コンピューティング、クラウドコンピューティングなど、最先端のコンピューティング技術の研究開発も進めています。柔軟な発想による新しいアイデアが必要な研究分野です。



## 研究室

## 澤田 龍 准教授

CERNのATLAS実験で、新物理、特に超対称性理論から予想される暗黒物質候補の発見を目指しています。また、ATLAS地域解析センター計算機システムの運用に加え、高輝度LHCへ向けた計算機利用能力向上の研究も行なっています。

研究室で力を入れているのが、機械学習や量子コンピュータなどの技術を素粒

子物理学に応用することです。新物理発見には、今後さらに大量になるビッグデータを効率的かつ精度よく解析することが重要です。機械学習をデータ解析のさまざまなプロセスで利用すれば、新粒子の探索能力を大きく向上させることができ、量子アルゴリズムを応用することで、飛躍的な進歩を生み出せる可能性もあります。

こうした革新的な研究を進めるには、創意工夫と最新のデータ解析手法の融合が欠かせません。最先端のコンピューティング技術を習得・応用し、新物理を発見する意欲のある方の挑戦を応援します。





## 欧州合同原子核研究機構 (CERN)

欧州諸国の共同出資により、1954年にスイスのジュネーブ郊外（スイスとフランスの国境）に設立された素粒子物理学のための国際研究機関。現在の加盟国は欧州23ヶ国。日本は米国・ロシア等とともにオブザーバー国として参加している。本センターは、1980年代からCERNの共同実験に加わり、強固な協力関係を築き上げている。

円形加速器LHCは世界最高エネルギーを誇る。2012年7月のヒッグス粒子発見の舞台となったほか、ワールドワイドウェブ (WWW) 発祥の地としても名が知られる。

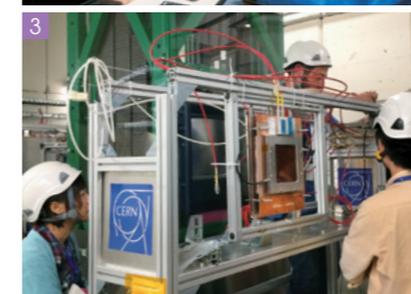
## ATLAS日本グループ

ATLAS実験は、世界38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。約1,200人の大学院生を含む約3,000人の研究者が携わり、ヒッグス粒子の性質の精密測定、素粒子の「標準理論」を超える新たな物理の探索を目指して研究が進められている。

日本の14の大学・研究機関からも、研究者・学生あわせて約160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素粒子物理最先端の研究に取り組んでいる。

### ATLASに参加する日本の14の研究機関

東京大学、高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、早稲田大学、東京工業大学、東京都立大学、お茶の水女子大学、信州大学、名古屋大学、京都大学、京都教育大学、大阪大学、神戸大学、九州大学



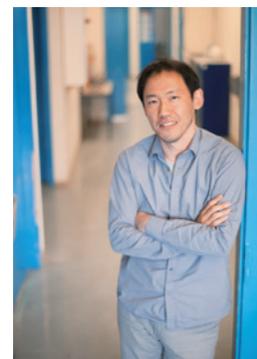
1 第3期実験で新たに導入するミュオントリガーシステムの、制御用ソフトウェア開発の準備。ミュオンに崩壊する新粒子を確実にキャッチする。2 液体アルゴンカロリメータの電子回路テスト。世界の研究者とともに。3 CERNで行なわれた試作チェンバーの放射線耐性テスト。4 ミュオンを検出するマイクロメガス検出器の表面抵抗検査の様子。5 LHCの1,200台以上のマグネットを、より安定・安全に動作させるための作業。6 LHCの運転停止期間中、ATLAS検出器の中心部にアクセスするために、ミュオン検出器を地下約100mから地上につり上げようとしている。



## 寺師弘二 助教

CERN

余剰次元や複合ヒッグス模型など、新物理を探索するグループの解析計画を主導する。大規模化する素粒子実験の将来を見据え、ビッグデータを量子コンピュータで解析する手法や、量子人工知能の応用にも取り組む。



## 江成祐二 助教

CERN

素粒子の質量起源について考察を深める。ヒッグスと第三世代のボトム、トップクォークとの結合定数の精密測定などを行なう。液体アルゴン電磁カロリメータの改良や、将来を見据えた検出器の開発にも取り組む。



## 増渕達也 助教

CERN

ヒッグスがWボソン対に崩壊するモードを解析、ヒッグス粒子発見に貢献。ヒッグスのボトムクォークへの崩壊モード発見にも大きく貢献した。ヒッグス粒子の精密測定を進める。ミュオン検出器の改良も行なう。



## 齋藤智之 助教

CERN

超対称性粒子の発見により、素粒子物理学の新たな展開や宇宙創成の謎の解明を目指す。より高いエネルギー領域を探索するため検出器のアップグレードに取り組む。バーストストッパーの開発・導入に貢献。



## 飯山悠太郎 助教

CERN

量子コンピュータや機械学習を素粒子物理学に応用する手法を模索する。また、高輝度LHCによりATLAS実験で処理するデータ量の大幅な増加に備え、計算機システムの改良や新たなデータ解析手法の開発に取り組む。



## 岸本 巴 特任助教

生成される大量のデータを扱うため、世界規模の計算処理とデータ保持・利用を目的としたグリッド計算機システムの構築と運転を行なう。データ量の大幅な増加に備え、機械学習の研究にも取り組む。



## 野辺拓也 特任助教

CERN

余剰次元など標準理論の枠組みを超えた新物理の探索と、ボソン対終状態を用いたヒッグス機構の検証を行なう。データ取得のためのオンライントリガーシステムを運用。ATLAS実験内の解析サブグループを主導した。



## 齋藤真彦 特任助教

機械学習や量子コンピュータなど、新たな技術に応用することにより、ATLAS実験における新物理現象の発見能力拡大を目指す。大規模データを処理するため、グリッドシステムの運用・改良にも取り組む。



—— 研究内容を教えてください。

LHC-ATLAS実験に参加し、2021年から開始予定の第3期実験 (Run3) に向けて、ソフトウェアの開発に取り組んでいます。開発しているのは、「ミュオントリガー」のためのシステム制御ソフトウェアです。

LHCでは陽子を1秒間に20億回ほど衝突させ、そこから生じるミュオンなどの粒子を検出して、それを手掛かりに新粒子を探します。衝突イベントのデータ量は膨大で、全てを記録することはできません。そのため、見たい衝突事象を高速で選別する「トリガー」が必要です。ATLAS検出器には、複数のトリガーがあります。ミュオントリガーは、ミュオンが検出器を通過する位置をもとに運動量を算出し、それによりトリガー判定を行なって、データを読み出すよう命令します。

ミュオントリガーには2つのレベルがあります。ひとつは「レベル1トリガー」で、データの取捨を最初に判断するハードウェアトリガーです。もうひとつは、「ハイレベルトリガー」という後段のソフトウェアトリガー

ATLAS実験 (奥村研究室)  
修士課程2年

## 杉崎海斗

Kaito SUGIZAKI



開発も解析も、  
実験も理論も、幅広く学ぶ

です。レベル1トリガーのなかの「ミュオンエンドギャップトリガー」は、ATLAS日本グループが中心になって研究しています。その根幹をなすのが、「TGC (Thin Gap Chamber)」というミュオン検出器です。

Run3では、New Small WheelとRPC BIS78という新たなミュオン検出器が増設される計画です。TGCに加えてそれらの新しい検出器からの情報もトリガー判定に使うため、新しいトリガー判定ボードが導入されます。私が開発しているのは、それらの新しいボードを含めた、ATLASの実験室から回路室に跨がる大規模なミュオンエンドギャップトリガーシステムを同期制御するためのソフトウェアです。開発は私がメインで担当していて、やりがいを感じています。

—— ICEPP (本センターの略称) に進学されたのは？

私は慶應義塾大学理工学部の出身です。慶應では3年生の冬に研究室を選ぶ際、理論か実験かに分かれます。私は素粒子の理論を学びたくて理論の研究室に進み、卒論のテーマに超対称性を選びました。素粒子の理論は非常に複雑で、仮定の上に仮定を重ねて理論を展開していきます。それを勉強しているうち、これが本当に自然界で起きている物理なのか、自分で確かめたい思いが強くなりました。新物理を探索する実験に携わりたいと、ATLAS実験の話聞きにICEPPのガイダンスに行き、そこで現在の指導教員である奥村准教授のお話に非常に興味を覚え、ICEPPを選びました。

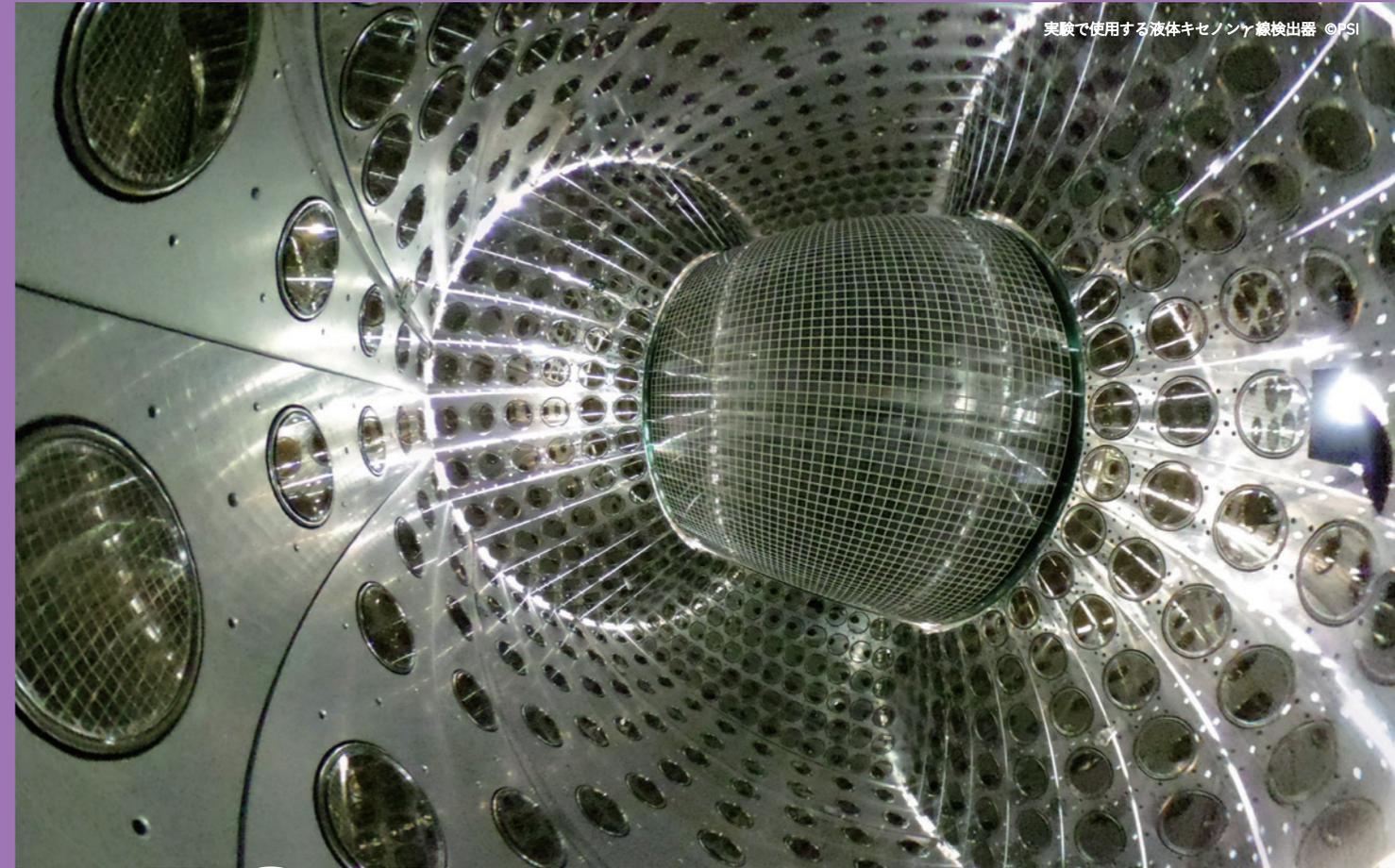
—— 実際にATLAS実験に携わった感想は？

理論をやっていたときは、家が遠いこともありゼミの日しか大学に行かず、自分で勉強していたため孤立感を覚えることもありました。ICEPPでは、チームで開発を行なうためコミュニケーションが頻繁にあり、賑やかで楽しく研究に取り組んでいます。

CERNにも3回行きました。ATLASの検出器が入っている巨大な実験棟では、ずらりと並んだボードの大きさに圧倒され、プロジェクトの大きさを実感しています。滞在中の休日には、ジュネーブの市街地での観光を楽しむなど、オン・オフともに充実した日々を送っています。

—— 今後の展望を聞かせてください。

Run3を見届けて、その先に予定されている第4期実験 (Run4) にも関わりたいと思います。博士号を取るには、開発だけでなく物理解析にも取り組む必要があります。私としては、開発か解析のどちらかではなくその両方を、さらには実験だけでなく理論の勉強も、これまで以上に進めていきたいです。「理論ができる実験屋」になるのが目標です。視野を広く持ち、いろいろなことに長けた研究者になりたいと思います。



実験で使用する液体キセノン線検出器 ©PSI

# MEG Experiment

## 新理論の手掛かりを掴め

スイスのPSI (ポールシェラー研究所) を舞台に行なわれるMEG実験の目的は、標準理論を超える新理論「超対称大統一理論」の検証にある。本センターの研究グループが設計・提案し、趣旨に賛同したイタリア・スイス・アメリカ・ロシアの研究者たちと2008年から取り組む国際共同実験だ。

目指すのは、電子の仲間「 $\mu$ 粒子」が $\gamma$ 線を出しながら電子に崩壊する、「 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊」事象の観測だ。これは標準理論では起こりえないが、「超

対称大統一理論」では数千億～十兆回に1回程度起こると言われる。事象が観測されてもされなくとも、MEG実験の結果は、その理論の正否を問うことになる。 $\mu$ 粒子の振る舞いが、新理論の方向性を左右する。

2013年夏に第1期実験を終え、観測感度を1桁高めた第2期実験 (MEG II) を、2018年から徐々に立ち上げている。MEG II実験でも先の基本戦略を継承・発展し、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。

## 研究室

### 森 俊則 教授

スイス・PSI（ポールシェラー研究所）を拠点に国際共同実験MEGを推進しています。宇宙初期に実現していたとされる素粒子と力の大統一（超対称大統一理論）を検証するべく、標準理論では起こりえない $\mu$ 粒子の崩壊を探索しています。

MEG実験は、大統一理論やニュートリノのシーソー理論など、超高エネルギー

の物理から期待される崩壊分岐比に到達した唯一の実験として世界的な注目を集めています。現在、MEG実験を発展させたMEG II実験を準備しており、実験感度を上げて新しい物理の兆候を得ることを目指しています。

私自身は、国際共同研究グループ全体を統括する実験代表者/スポークスパーソンとして、MEG/MEG II実験の物理研究を主導しています。また、高エネルギー委員会（JAHEP）委員長や国際将来加速器委員会（ICFA）などの委員を務め、国内外の高エネルギー物理学の将来計画の戦略立案にも携わっています。



## 研究室

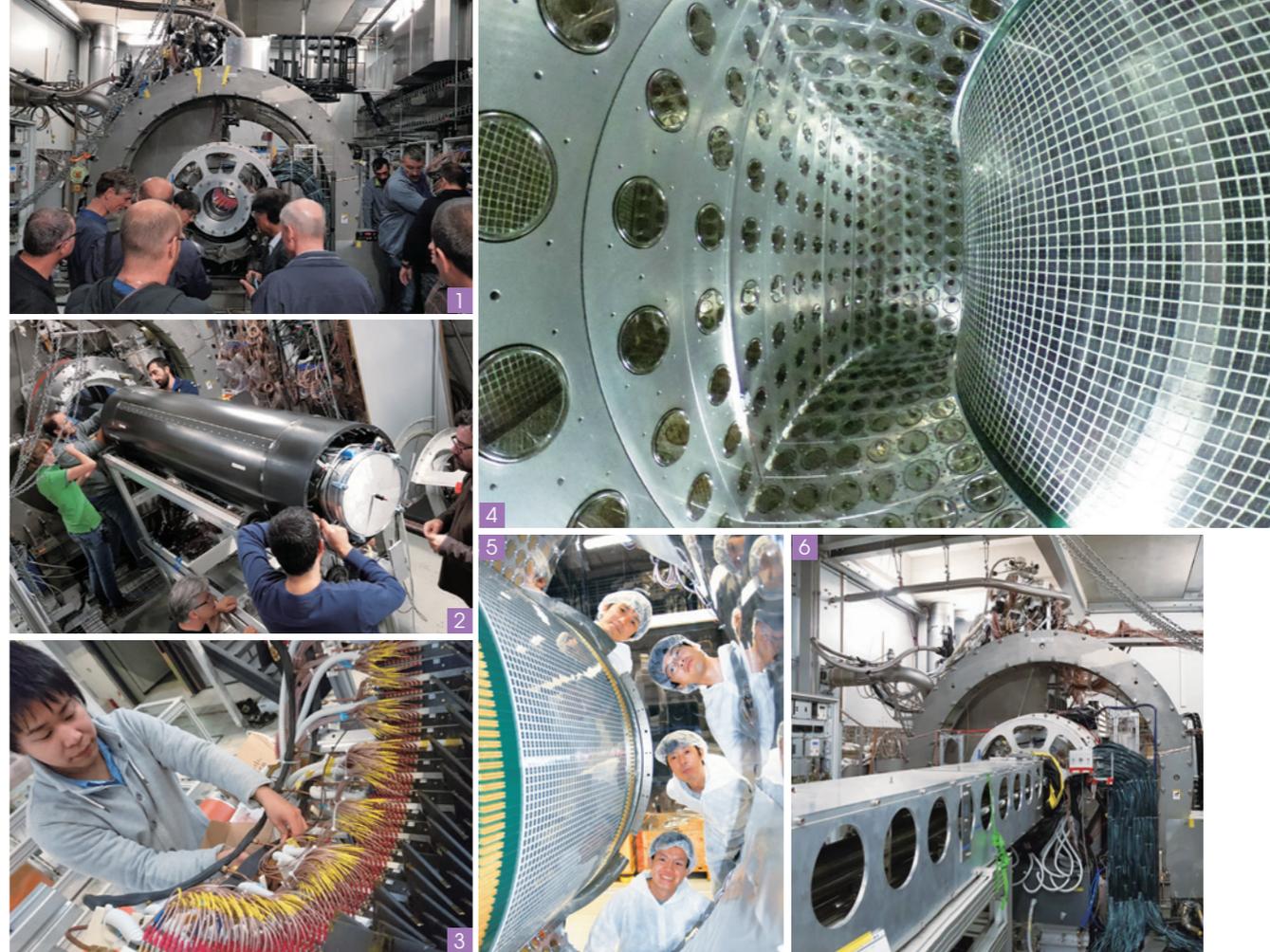
### 大谷 航 准教授

MEG実験の物理解析責任者として国際グループを牽引。第1期実験では先行実験を30倍上回る感度で $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索しました。来る第2期実験（MEG II）で探索感度を究極まで高めるため、検出器の改良に取り組んでいます。

探索感度の向上には、PSIの陽子サイクロトロンで生成可能な最大強度の $\mu$ 粒

子ビームを使用する必要があります。第1期実験と比べてビーム強度が倍増するため、信号と背景事象をより精度よく分離するには、検出器のエネルギー・時間・位置の分解能をそれぞれ2倍改善することが求められました。実験の鍵を握る新しい液体キセノン $\gamma$ 線検出器と陽電子タイミングカウンターを提案。その開発を主導しています。

MEG II実験の遂行と並行して、将来の $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索実験に向けた研究開発にも取り組んでいます。探索感度をさらに向上させ、未知の物理現象の発見を目指しています。



1 ガス検出器の専門家らで組織された国際評価委員会によるドリフトチェンバーのレビュー。2 イタリアの研究チームが開発するドリフトチェンバー。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開発風景。4、5 日本チームが開発する液体キセノン $\gamma$ 線検出器。4の写真右側と5の写真左側が新開発した光センサーMPPC。4の写真左側は従来の光センサーPMT。6 MEG II実験に向けた装置のインストール作業の様子。

### 岩本敏幸 助教

PSI

MEG II実験のランコーディネータ、テクニカルコーディネータとして実験を推進、液体キセノン $\gamma$ 線検出器の運転・較正も担当する。観測感度をさらに高め、超対称大統一理論などが予測する新物理の発見を目指す。



### 内山雄祐 特任助教

PSI

MEG II実験に備え、崩壊する $\mu$ 粒子から放出される陽電子の振る舞いを、最高精度で観測する新たな検出器を開発。ソフトウェアコーディネータとして、計算機を用いた高効率・高精度なデータ解析の実現にも取り組む。



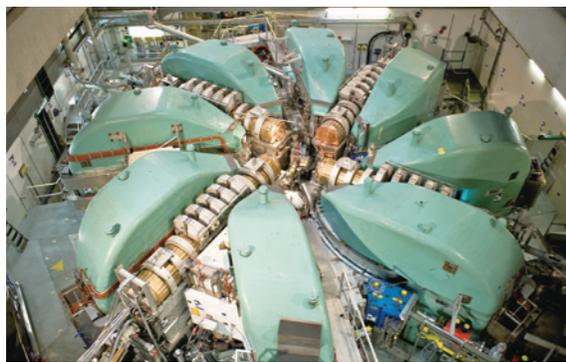
### 家城佳 特任研究員

PSI

液体キセノン $\gamma$ 線検出器に導入する光センサーMPPC（シンチレーション光を検出するための装置）の開発・試験・インストールに取り組んだ。日本企業と共同で新たなセンサーを開発し、超高精度な $\gamma$ 線の測定を目指す。



## ポールシェラー研究所 (PSI)



スイス・チューリッヒ郊外にある国立研究機関。世界最大強度の $\mu$ 粒子ビームや超冷中性子を生み出す陽子サイクロトロン（写真）に加え、スイス自由電子レーザー施設（SwissFEL）など、独自の研究設備がある。

### — どんな研究をされていますか？

MEG II実験の準備・立ち上げに参加しています。この実験は、 $\mu$ 粒子という素粒子が陽電子 ( $e^+$ ) と $\gamma$ 線に崩壊する事象を、世界最高感度で観測しようというものです。この崩壊は、既存の素粒子物理の枠組みを超えた「超対称大統一理論」のなかではごく稀に起こると言われています。しかし、いまだ実験的には見つかりません。すなわち、これが実験で観測されれば、新物理の決定的な証拠になるのです。

2021年開始を目指しているMEG II実験は、前身のMEG実験からのアップグレード実験であり、検出器も一新しています。私の研究テーマは、新しい陽電子検出器の製作や運用、そして検出器を使ったデータ解析がメインです。MEG II実験は中規模の実験なので、ハードウェアとソフトウェアの両方の研究を手掛けることができます。研究の幅を広げ、自分の研究力を向上させることができました。

MEG実験（大谷研究室）  
博士課程3年

## 宇佐見正志

Masashi USAMI



世界最高の実験のために、  
世界最高の検出器をつくる

陽電子検出器を構成する陽電子タイミングカウンターでは、 $\mu$ 粒子からの崩壊粒子が大量に当たることで損傷し、性能が悪化する「放射線損傷」という現象が指摘されていました。その詳細を調べ、その対策を講じたことが私の研究成果のひとつです。放射線損傷によって増加するノイズが温度に依存するため、低温にして運転すれば損傷による影響をほぼ無視できるレベルまで抑えられることを、実験によって明らかにしました。

この問題を解決するうえで、修士1年のころは実験装置や放射線損傷への理解が足りず、一人で悩んでいました。修士2年に上がり、自分の理解が深まってきたこともあり、他のメンバーとの積極的な議論を心掛けました。メンバーは、世界各国から集まっているエキスパートたちです。議論を通じて、自分のなかで疑問がどんどん解消されていくとともに、自分が悩んでいることを伝えると、周囲のメンバーはさまざまな助言や手助けをしてくれました。こうして実験がうまく回り始め、いい実験結果が出て、成果を挙げられるようになりました。国際的な環境で物事を前に進めるには、コミュニケーションが非常に大事だと体感することができました。

### — ICEPPに進学した動機を教えてください。

学部4年の時に素粒子実験をやってみて、非常に面白いと思いました。ICEPPに興味を持ち、ガイダンスを聞きに行ったのがきっかけです。最初はATLAS実験をやりたいと思っていましたが、大谷先生がMEG II実験の紹介をされたときのお話が非常に印象的でした。「世界最高の実験をするには、世界最高の検出器をつくる必要がある。検出器を自分でつくって自分で運用するのは楽しい」というお話で、それが心に響いて大谷研究室に入ろうと決めました。

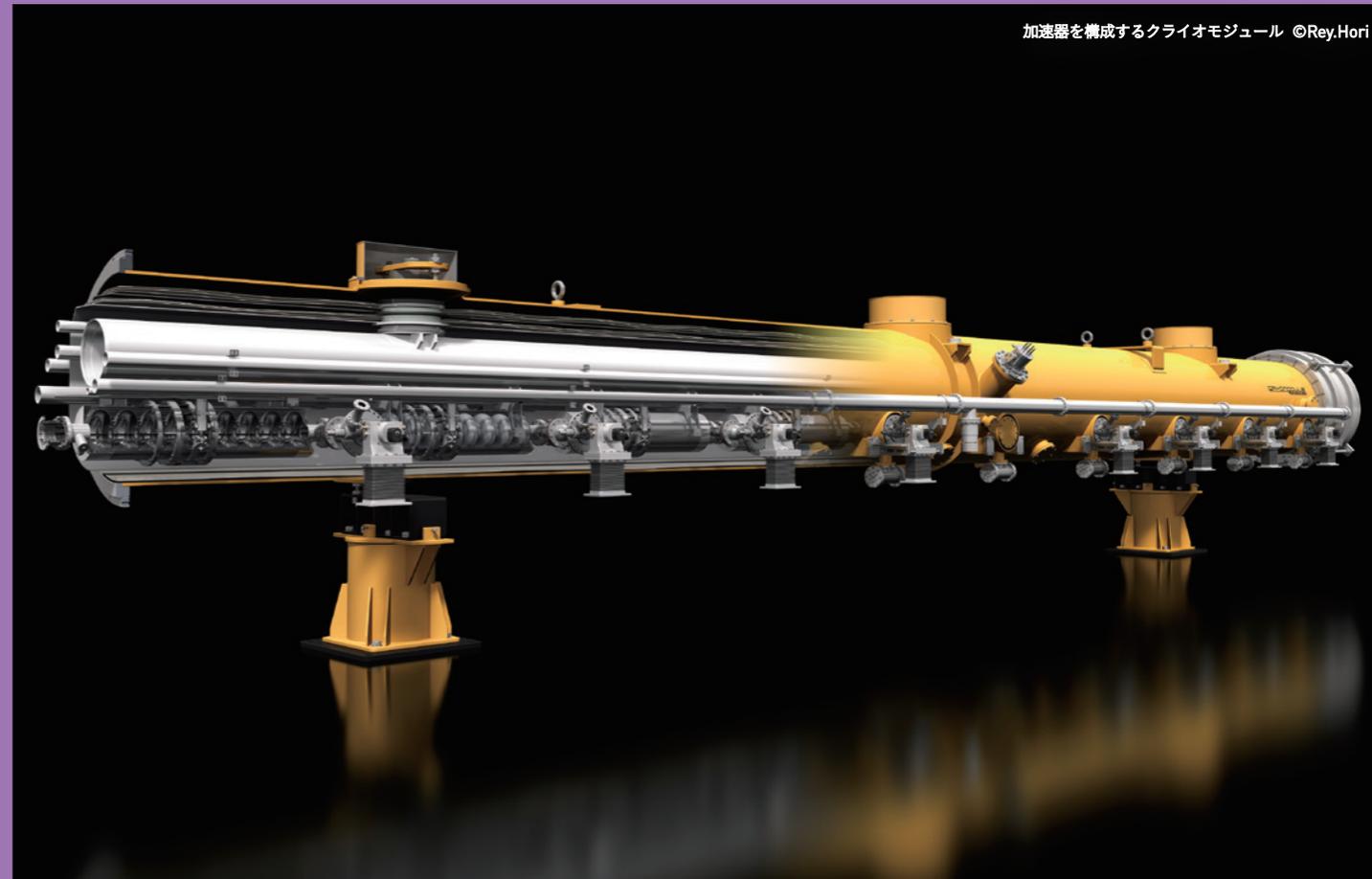
実際に進学すると、世界最高の検出器をつくるには地味な作業も多く、大変だと思うこともありましたが、でも、自分でつくった検出器で、データを初めて取れたときの喜びは、何物にも代えがたいものです。

### — 今後の展望をお聞かせください。

私は素粒子実験を通してハードウェアにもソフトウェアにも関わり、幅広い能力を身につけることができました。なかでも、ソフトウェアのデータ解析が非常に面白いと感じています。データを集め、自らの手で加工して可視化し、結果を導くプロセスに魅力を感じています。

こうしたデータ分析の能力は、素粒子実験だけでなく、広く社会全体で必要とされています。私自身の気持ちとしても、新しいことに挑戦したい思いが強くなっていて、企業に就職してデータ分析の仕事に就きたいと考えています。自分の能力を発揮して、社会に貢献できるようになりたいと思っています。

加速器を構成するクライオモジュール ©Rey.Hori



# ILC Project

## 新物理を探索する次代の切り札

ヒッグス粒子の詳細研究を筆頭に、新物理探索の切り札と期待される素粒子物理学の次世代基幹プロジェクト。「International Linear Collider（国際リニアコライダー）」の略称で、LHCとは異なるタイプの線形加速器の建設を目指す現在進行形の計画だ。

電子と陽電子を衝突させるエネルギーは、線形加速器で世界最大のTeV（テラ電子ボルト）スケールを目指す。単体の素粒子どうしの衝突は高精度の実験を可能とし、CERNのLHCでもとらえきれ

ない事象を明らかにすると期待される。世界中の素粒子物理学者たちが実現を長く夢見てきたプロジェクトで、日本でも約30年にわたって検討・準備が進められてきた。

ILCの有力候補地として、日本の北上山地が挙がる。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き、日本誘致と2030年ごろの稼働を目指して精力的に活動している。日本でILC建設が決まれば、世界の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することになる。

## 研究室

## 森 俊則 教授

ICFA（国際将来加速器委員会）日本代表やJAHEP（高エネルギー委員会）委員長を務め、エネルギーフロンティアの世界的な次期基幹計画であるILCの実現に向け力を尽くしています。ILCは、日本がイニシアチブを取って進めています。

ILCの重心系エネルギーは250 GeV。ヒッグス粒子を大量生産し詳細に調べる

ヒッグスファクトリーとして、ILCは優れた性能を示します。ILCは拡張性も高く、新粒子・新現象を発見するために効率的にエネルギーを増強させることもできます。こうした性能は広く認められ、JAHEPでILC250の提案がなされ、続いてICFAはILCの早期実現を奨励する声明を発表しました。

ILCは、ヒッグス粒子がどのように宇宙の相転移を引き起こし、現在の複雑で豊かな宇宙を作り上げたのか、その謎を解くために必須の加速器です。研究室では、ILCに必要な測定器と物理の研究にも取り組んでいます。



## 山下 了 特任教授

CERNのLHCで新物理・新現象発見の機運が高まるなか、次世代のエネルギーフロンティアを担う加速器実験の計画が進められています。ILCはその最有力候補。私もプロジェクトを率いる中心的役割を担い、欧・米・アジアの国際協力のもと計画を進めています。現在、研究開発とともに国際的な組織間で合意形成を

進めており、計画の根幹を決める重要なフェーズにきています。日本の北上山地が有力候補として挙がっており、日本誘致にも力を入れています。

本研究室は、ILDと呼ばれる測定器の開発に参加し、ターゲットとなる物理現象のシミュレーションや測定性能評価でリーダーシップを発揮しています。また、国内の大強度陽子加速器施設であるJ-PAARCにて、世界最高強度での超低エネルギー中性子を用いた素粒子実験も行なっています。学外で出張授業を開催し、素粒子物理学に対する社会の関心と理解を高める活動にも数多く取り組んでいます。



## 研究室

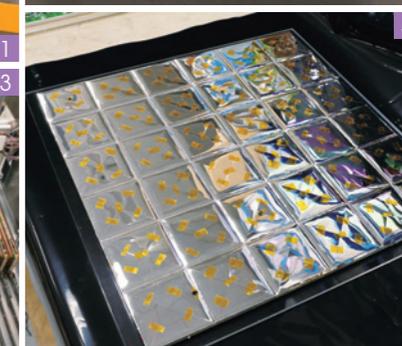
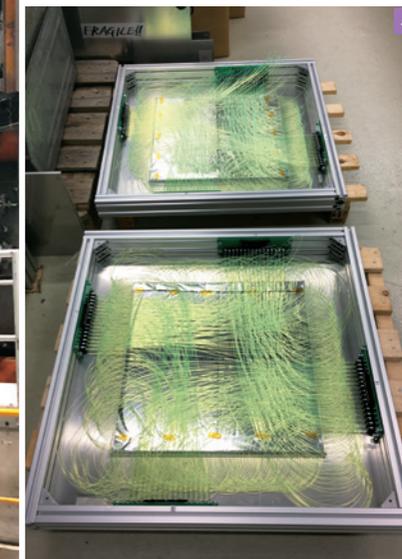
## 大谷 航 准教授

次世代エネルギーフロンティア実験ILCの早期実現に向け、かつてない性能を持ったILC用測定器の開発と、ILCで期待される物理研究に取り組んでいます。

ILCでは、レプトン(単体粒子)である電子と陽電子を衝突させるため、背景事象の少ない環境で精密な測定を行なえるのが特徴です。その特徴を十分に活かすた

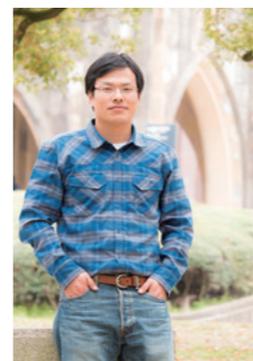
め、ILC測定器への導入が検討されているのが、「Particle Flow Algorithm (PFA)」という画期的な手法です。測定器内で発生した粒子のエネルギーを粒子の種類ごとに個別に測定し、エネルギー分解能を高めるのが狙いです。それにより、ヒッグス粒子の精密測定が可能になります。

ILC用測定器の要となるのが、粒子のエネルギーを測定するカロリメータです。約一千万チャンネルの高精細シンチレータと新型半導体光センサーから得られた信号を、高密度集積回路で読み出す革新的な測定器システムです。本研究室はその国際的な研究開発を主導しています。



## 田 俊平 助教

ILCの物理および測定器最適化に携わる。ILCの物理的意義を高めるため、電弱対称性の破れの謎に迫るヒッグス自己結合について研究している。また、ILD測定器の物理研究能力を高めるため、最適化にも取り組んでいる。



## 田邊友彦 特任助教

ILCの測定器ILDの設計最適化と、データ解析アルゴリズムの研究開発に取り組む。これらの研究を通じて、ILCで期待されるヒッグス粒子の精密測定や、暗黒物質粒子の発見感度の評価を目指す。



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実験。試験はCERNで実施した。2 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。3 4 5 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。

**稲田聡明** 特任研究員

強磁場を発生するさまざまなマグネットを開発する。それらと高輝度放射光やレーザー光を用いて、真空の非線形物理の精密測定及び未発見粒子の高感度探索を行なう。

**難波俊雄** 助教

一対の電子と陽電子だけからなる最軽量の原子、ポジトロニウムを用い、標準理論とズレのある事象の観測を目指す。将来のブレークスルーとなる検出器の開発も行なう。



## 研究室

**浅井祥仁** 教授  
〈理学系研究科〉

「光」と「真空」をテーマに、新しいアイデアで斬新な素粒子実験を行なう。徹底した技術開発により、加速器で到達不能な高いエネルギー領域の物理を間接的に検証する。

**テーブル  
トップ  
実験**

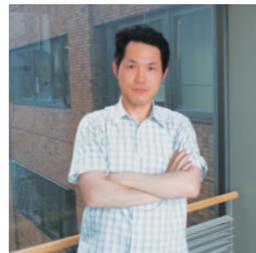
標準理論を超える新物理は、実験室でも見つかるかもしれない。素粒子現象を直接探るには、大型加速器の高エネルギーが必要だが、低エネルギーでもユニークなアイデアと多彩な実験手法を駆使すれば、間接的に素粒子現象を探ることができる。テーブルトップ実験は、少数精鋭の研究グループで、隠れた素粒子現象や未解明の宇宙誕生の謎に迫る。

**小貫良行** 助教  
〈理学系研究科相原研究室〉

高エネルギー加速器研究機構のSuperBファクトリー実験で、標準理論を超えた現象の検出を目指す。将来の高エネルギー実験で使用可能な半導体放射線検出器も開発する。

**井上慶純** 助教  
〈理学系研究科〉

隠れた光子 (hidden photon) を想定した暗黒物質の検出実験、小型ニュートリノ検出器の開発に加え、それらを活用した雷雲由来の放射線バースト現象の観測に携わる。

**神谷好郎** 助教  
〈理学系研究科〉

低速中性子などを用いた重力の検証実験、未知の粒子探索、高強度レーザー場の下での非摂動的な非線形QEDの研究、次世代レプトンコライダーのための検出器開発などに取り組む。

**その他の  
素粒子  
実験**

未知の素粒子、素粒子の知られざる性質、素粒子が引き起こす不可思議な現象、素粒子の世界では弱すぎる「重力」。素粒子について解明されていないことは多い。素粒子研究にも、多様なアプローチが残されている。

ネマティック・フィット」という技術を解析に応用する研究を進めています。これは、測定された物理量を各種物理制約条件の下で補正・最適化する技術で、CERNのLHCの前身である加速器LEPで大活躍しました。これをILCの高精細な測定器にも応用し、最大限の測定精度を実現できるように、シミュレーションを用いて研究しています。

また、開発に携わっている測定器は、荷電粒子と光子のエネルギーを測定する「電磁カロリメータ」という装置です。九州大学とフランスのグループと一緒に、国際共同研究で進めています。私は特に、実機の前段階である技術プロトタイプの開発を行っており、昨年7月にはDESY (ドイツの加速器研究所) で電子ビームによる性能評価試験を行ないました。電磁カロリメータの開発に携わり始めてからビームタイムまで3か月しかなく怒濤の日々でしたが、何とかやり遂げることができました。

**— ICEPPに進まれた動機や、  
進学後の感想などを教えてください。**

学部時代は東北大学で素粒子や原子核の勉強をしていて、次第に実験分野に興味を持つようになりました。当時は梶田先生のノーベル物理学賞受賞の影響でニュートリノ研究が非常にホットでしたが、将来性を見据えて「その次」を目指したいと思っていたところ、ILC計画のことを知りました。研究室の候補がいくつかあるなかで、ICEPPの山下研究室を知り、個人で研究テーマを持つことに魅力を感じて進学希望を出しました。

山下先生に最初に言われたのは「いろいろなことができる研究者になってほしい」ということです。当時の山下研のメンバーの研究内容は、中性子寿命の測定実験や電気双極子モーメントの測定、電子顕微鏡の開発などバリエーションが豊富でした。そして私も山下研で、中性子寿命の精密測定や光検出器の開発など、多様なテーマに関わる機会を得ました。そうした経験、特にハードウェアに対する理解やアプローチの仕方の経験は、ILCの電磁カロリメータの研究開発に加わった際にも大いに役立ちました。

**— ICEPPの魅力は何だと思いますか？**

私の同期は、ATLAS、MEG、ILC、Tabletopと、全員まったく違う分野で研究しています。そのなかで、お互い歯に衣着せぬ議論ができるのが面白いです。

ILCの研究でも、国内外の他大学・研究機関との連携が、リモートの会議システムなどを含めて非常にスムーズに行なわれています。ICEPPの環境にしながら、他組織との議論が活発にできます。一方でICEPP、特に山下研では、研究テーマの選択肢の幅が広く、自分がやりたいテーマに挑戦できるのも大きな魅力です。

**— どのような研究に取り組まれていますか？**

ILC計画で、シミュレーションを用いた物理解析がメインです。それと並行して、ILCで実際に使う測定器の開発にも携わっています。

ILC実験は電子と陽電子を光速近くまで加速して衝突させてヒッグス粒子を大量につくり出します。ヒッグス粒子の性質を詳細に調べることで、従来の標準理論を超える新物理の姿を探ることが最大の目的です。そのためには、従来の衝突実験とは比べものにならないほど高精細な測定器の開発と、それに対応した物理解析手法の開発が求められます。特に、複数の粒子がある程度の指向性をもつ束になって観測される「ジェット」という現象を、精度よく測定・解析することが重要です。

ジェットの高精細測定には、ジェットに含まれる粒子の種類に応じて、最適な検出器でエネルギーおよび物理情報を測定するPFA (パーティクルフローアルゴリズム) という分析手法が用いられます。私はそれに加えて「キ

ILC計画 (山下研究室)  
博士課程3年

**加藤 悠**

Yu KATO

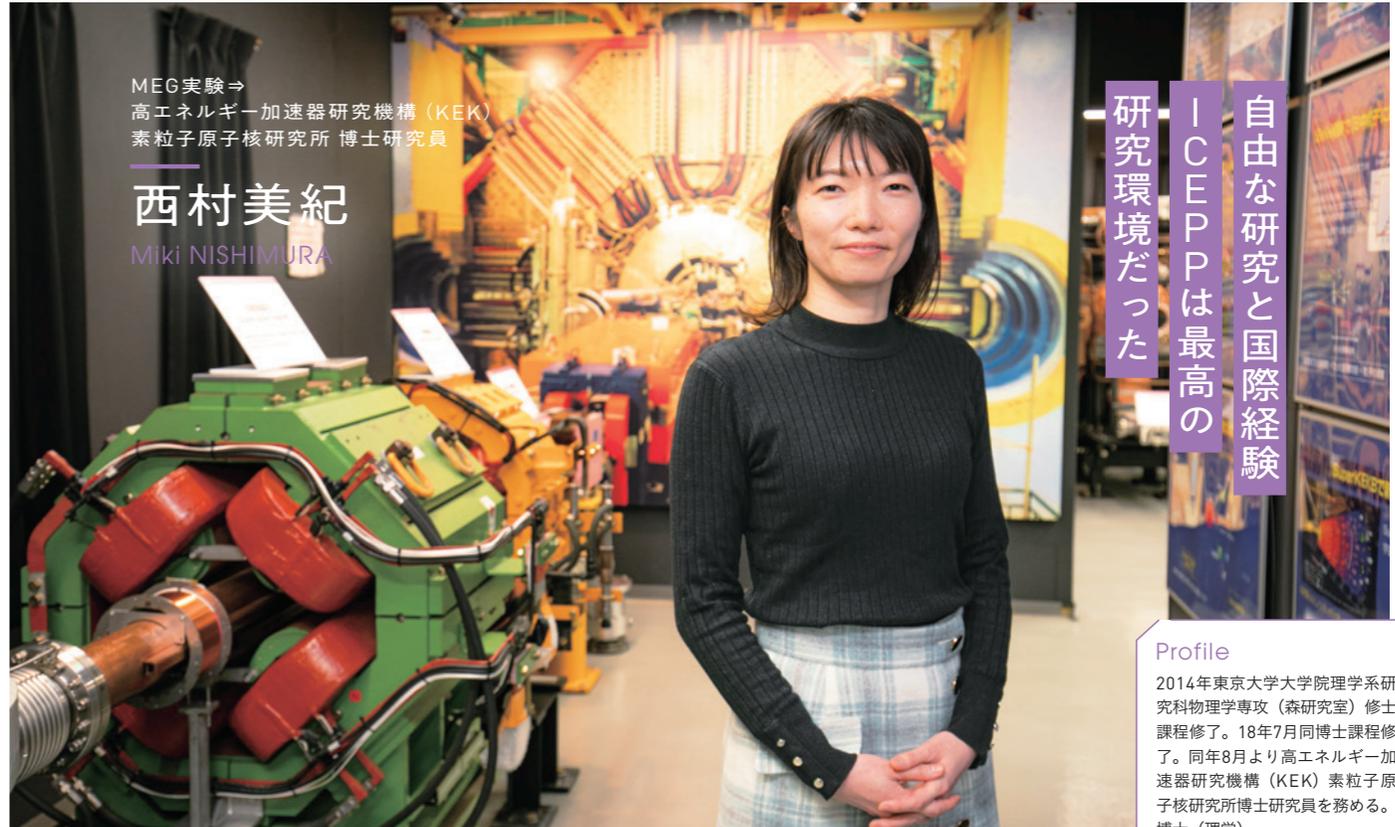
次世代の素粒子研究で、  
新物理を探索する



自由な研究と国際経験  
ICEPPは最高の  
研究環境だった

#### Profile

2014年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻（森研究室）修士課程修了。18年7月同博士課程修了。同年8月より高エネルギー加速器研究機構（KEK）素粒子原子核研究所博士研究員を務める。博士（理学）。



MEG実験⇒  
高エネルギー加速器研究機構（KEK）  
素粒子原子核研究所 博士研究員

## 西村美紀

Miki NISHIMURA

索に興味を覚え、京都大学に移って初期宇宙の研究を始めました。現在の初期宇宙論では、超ミクロの存在で生まれた宇宙は、「インフレーション」という加速膨張を行ない、宇宙全体に広がる「原始重力波」を生成したと考えられています。原始重力波の有力な検出方法が、ビッグバンの熱放射の残光である「宇宙背景放射（CMB）」の偏光パターンの精密な観測です。原始重力波の検出は重力の量子化の実験的検証にもなる、究極の物理実験テーマです。

私はCMB観測プロジェクトのひとつであるSimons Observatoryに加わり、南米・チリに設置する望遠鏡の製作に取り組んでいます。望遠鏡内部のノイズ（迷光）を除去する電波吸収材（黒体）の開発に際して、私は高い吸収率を誇る黒体を3Dプリンタでつくる手法を考案しました。現在、2020年の観測開始を目指して準備を進めているところです。

ICEPP時代を振り返ると、装置をつくって実験し、データ解析までを自分で行なうTabletop実験は、研究者としての大きな土台になりました。ATLAS実験では、新粒子探索という物理に集中することができました。高エネルギー領域の研究で新物理を切り拓きたいというモチベーションを大切に、今後も研究を続けていきます。

ICEPPでは、修士の時にTabletop実験を行ない、博士課程ではATLAS実験に参画しました。

東大入学前から素粒子に興味があり、LHC-ATLAS実験に関わりたくて、4年生の時に浅井先生の研究室に入りました。そこで浅井先生に「まずはTabletop実験をしたらどうか」と誘われたのです。修士のときは、アイソトープ線源から出てくる放射線から「オルソポジトロンウム」をつくり出し、それが崩壊する際のエネルギー分布が理論と合致するかを精密に調べる研究に取り組みました。オルソポジトロンウムは、電子と陽電子のみからなる最小の原子です。

博士課程からATLAS実験に加わり、発見が期待されていた超対称性粒子「グレイノ」を探す研究を行ないました。博士1年目がLHC第2期運転の初年度で、エネルギースケールは第1期運転の2倍、グレイノ生成の予想量は10倍以上になったので、発見の可能性は高いとされていたのです。博士3年の秋までCERNで研究を続けましたが、残念ながらグレイノは見つかりませんでした。事前に期待されたエネルギースケールではグレイノが存在しないことを明らかにした博士論文は、結果的にインパクトがあったと思います。

その後は、より高いエネルギースケールでの新物理探

Tabletop実験⇒ATLAS実験⇒  
京都大学大学院理学研究科  
日本学術振興会特別研究員（PD）

## 安達俊介

Shunsuke ADACHI

「机の上」での実験が、  
研究者としての  
土台になった

#### Profile

2015年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。18年同博士課程修了。同年より京都大学大学院理学研究科物理学第二教室高エネルギー物理学研究室日本学術振興会特別研究員（PD）を務める。博士（理学）。

ICEPPでは、MEG II実験の立ち上げに関わりました。MEG II実験は、 $\mu$ 粒子が陽電子（ $e^+$ ）と $\gamma$ 線に崩壊する事象を探索するMEG実験のアップグレード版です。 $\mu$ 粒子は荷電レプトンの一種で、同じ荷電レプトンである電子や陽電子の約200倍の質量があります。こうした質量の違いを「フレーバー」と呼びます。標準理論では、荷電レプトンのフレーバー変更は起こり得ないとされていますが、超対称性理論をはじめとする新物理では、稀に起こるとされています。これを「レプトンフレーバーの破れ（Lepton Flavor Violation）」といい、MEG実験はその観測を目指しています。

私はMEG実験で、陽電子を測定する「陽電子タイミングカウンター」の開発に携わりました。大学院進学当時は、ちょうどMEG II実験の立ち上げ時期で、修士1年目で開発をゼロから任せられました。5カ国約60名体制で動いている中規模実験だからこそです。机の上ではんだ付けをする地道な作業から始まり、試作品をいくつもつくって性能を評価・比較したほか、ソフトウェアの開発や段階に応じたビームテストの実施など、開発フェーズをひと通り担当しました。最終的に実機を完成させ、物理結果向上に十分な成果があることを示しました。センター在籍中は、実験の拠点であるポールシェラー

研究所（PSI）があるスイス・チューリッヒに滞在していました。開発した陽電子タイミングカウンターを、イタリアの実験施設でテストするため、修士2年と博士1年のときにはイタリアにも行きました。

博士課程修了後は、高エネルギー加速器研究機構（KEK）でBelle II実験に携わっています。SuperKEKB加速器で電子と陽電子を衝突させ、B中間子と反B中間子をつくる実験です。実験規模が25カ国900名超と大きく、複数の物理事象を探索しています。私の研究グループでは、電子と陽電子の衝突によって生成される $\tau$ 粒子の性質を調べたり、 $\tau$ 粒子が3つの $\mu$ 粒子に崩壊する事象や $\mu$ 粒子と $\gamma$ 線に崩壊する事象を探索しています。 $\tau$ 粒子は荷電レプトンの一種で、 $\mu$ 粒子の約20倍の質量があります。 $\tau$ 粒子についても、標準理論では「レプトンフレーバーの破れ」は起こり得ないとされていますが、超対称性理論などの新物理では稀に起こるとされています。

素粒子に興味があり、海外志向もあって、ICEPPに進学しました。MEG実験を選んだのは、実験が中規模で、いろいろなことができると思ったからです。実際、自由に研究できましたし、さまざまな国の優秀な研究者から多くのことを学びました。スイス滞或在イタリア人との共同研究など、国際経験も大きな糧になっています。

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

発行日/令和2年5月28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

