



Accelerating science and innovation  
Societal benefits of European research in particle physics

科学とイノベーションを加速する  
欧州の素粒子物理学研究の社会的恩恵



#### EDITORS

James Gillies (CERN), Camilla Jakobsson  
(Swedish research council), Arnaud Marsollier  
(CNRS/CERN), Vanessa Mexner (Nikhef),  
Terry O'Connor (STFC)

#### TEXT

Tim Radford

#### GRAPHIC DESIGN

Fabienne Marcastel, Eric Mathieu

#### ILLUSTRATION CREDITS

All copyright CERN - except pages:  
11 (© CNAO), 15 (© 2010 TerraMetrics,  
© 2010 DigitalGlobe, © 2010 Cnes/Spot  
Image, ©2009 Google), 17 (© SSSL &  
© Tom Whyntie), 19 (© sensiflex)

Produced by the European Particle Physics  
Communication Network for the CERN  
Council, May 2013

CERN-Brochure-2013-004-Eng

# Contents



A sample of the media coverage of the 4 July 2012 seminar announcing a new discovery at CERN.

経緯 .....	4
素粒子物理学の共同研究 ヨーロッパが学んだこと：協力は報われる .....	7
医療とライフサイエンス 知識体系：健康に役立てられる素粒子 .....	9
エネルギーと環境 大きく考える：省エネ・地球環境再生 .....	12
通信と新技術 発明を発信する .....	14
社会とスキル パワー・トゥ・ザ・ピープル – 民衆に力を .....	17
The European Strategy for Particle Physics Update 2013 .....	20

# 経緯

Agnieszka Zalewska , Michel Spiro

1950年代初頭、欧州12カ国が協力し、新たな科学組織を立ち上げた。この組織は原子核物理学の基礎研究分野において、欧州を第一線へと押し上げ、欧州の国々が平和的に協働する場を提供することになった。それから60年。この果敢なる取組みは、期待通りの成果を上げている。欧州合原子核研究機関(CERN)は、根本的な宇宙の構成要素と、それらが相互作用することによって、星、惑星、そして人間といった複雑な構造物がどのように形作られるのか、欧州各国の大学と研究機関との緊密な協力で研究を進め、知の総量を大幅に上げる活動において重要な役割を果たして来た。ここに至るまでに、CERNは技術の限界を押し上げ続け、イノベーションを牽引して、多岐にわたる分野で社会に役立ってきた。これらの進歩は見過ごされることはなかった。数々のノーベル賞が、科学の進歩に貢献したCERNの科学者たちと、その進歩を可能にした技術に、授与されている。

この半世紀にわたり「標準理論」と呼ばれる、素粒子とその相互作用を記述する理論を構築するプロセスにおいて、CERNは実験基盤整備の主導的役割を果たして来た。基本的な物質像は、意外にも非常にシンプルだ。この世の目に見える多種多様なものをつくり出すために必要なのは、わずか4種類の粒子である。それらは、アップ・クォーク、ダウン・クォーク、電子、電子ニュートリノの4つだ。クォークは結合して核子（陽子と中性子）を作る。核子が結合すると原子核となり、原子核は電子によって結びつき、原子を形作る。あまりにも軽いために質量がまだ計測できていない電子ニュートリノは、全てのものを通り抜け、ほぼ光の速さで飛んでいる。未解明の理由によって、自然はこれらの各粒子に瓜二つだが、質量が重い兄弟粒子を2つ産み出した。これらのより重い粒子は、一番質量の軽い兄弟粒子へと姿を変える。そして、異なる種類の粒子が物質粒子間の相互作用を仲介する。これらの粒子のふるまいを、CERNをはじめとする素粒子物理の研究所で調べることによって、標準理論は構築されてきたのだ。

2012年、ATLASおよびCMS実験グループは、標準理論の最後の粒子「ヒッグス粒子」の発見を発表した。1964年に提唱されたこの粒子は、他の素粒子が質量をもつメカニズムに関係している。ヒッグス粒子の発見で標準理論は完成したが、これは終わりではなく、始まりである。



CERNの大型ハドロンコライダー



標準理論が扱うのは、アップ・クォーク、ダウン・クォーク、電子、電子ニュートリノと、それらの重たい兄弟粒子である。しかし、これまでの観測から、宇宙の95%は、ダークマター、ダークエネルギーと呼ばれるもので構成されていることがわかっている。さらに、標準理論では重力を扱うことができず、また、宇宙に反物質が存在しない謎も説明できない。これらは、今日の最先端の素粒子物理研究が取り組んでいる主要課題である。

ヒッグス粒子の発見は、人類の最も野心的な計画のひとつ「大型ハドロンコライダー(LHC)」が可能にしたものだ。100を超える国からの1万人以上のエンジニアと科学者がリソースを集結し、LHCとLHCがつくり出す素粒子反応をとらえる測定器を建設、運用した。LHCは、銀河系空間よりも冷たく冷やされた超伝導磁石を用いて、陽子ビームを光速の99.9999991%まで加速。1秒間に6億回も衝突させる。精巧な測定器はこれらの衝突を観測し、新しい物理へのデータを選別する。一方、世界をつなぐグリッド・コンピューティングシステムがデータを解析する。これら全てを遂行するために、物理学者、エンジニア、そして産業界のパートナー企業が、新しい装置を設計し、新技術を発明し、前例のない規模のデータを扱う新しい方法を実現した。これは、理論家と実験家、大学と研究所、ヨーロッパ大陸とそれを超えた研究パートナーシップやと産業コンソーシアムといったつながりをつくった、欧州における協力の力強さを表している。

欧州の成功に寄与したのは、60年前にCERN創設者がつくりあげたガバナンス・モデルである。我々2名とも（訳注：Agnieszka ZalewskaとMichel Spiro）、その議長を務めるという栄誉を浴したCERN理事会は、1954年から素粒子物理の発展を指揮してきた組織である。CERNの加盟国を代表する組織であり、概念設計から運用まで20年もの歳月を要したLHC計画を承認・支援してきた。理事会を通じてCERN加盟国が計画への支援を行うと、加盟国の研究グループのみならず、世界中から計画への参加が集まり、長期的なコミットメントが確約された。このように、LHC計画は初の国際的な素粒子物理の研究施設となったのである。

欧州素粒子物理の長期プログラムを進展させるために、2006年、CERN理事会は「素粒子物理の欧州戦略」を採択した。それから7年、ここで重要な発見も実現され、世界的な研究の展望は進展し、我々の将来ビジョンを見直す時期に来ている。欧州そして世界各国の関係者との綿密な協議のうえで、戦略の初のアップデートが理事会で議論された。そして2013年5月の特別会合において採択されたのである。

このパンフレットの最後に、欧州戦略について詳しい記載がある。この戦略の主要な狙いは、素粒子物理分野と、天文物理、宇宙論、原子核物理といった関連分野の国際的な展望を考慮に入れた上で、欧州の素粒子物理における優位性を向上させることである。特に、この戦略では、LHC計画への継続的な支援が強調されており、加速器と測定器のアップグレードを欧州素粒子物理コミュニティの最優先事項と定めている。

このパンフレットのその他の章には、欧州の各国が基礎科学の知識をプールした結果に生じる社会的な利益について考察している。素粒子物理の知識を拡大する取組みは、国境を越える揺るぎない協力関係を築き上げた。この取組みによって、必要とされる新奇な技術的ソリューションが生まれ、次世代の科学者・エンジニアが育成された。そして、若者をインスパイアし、宇宙の不思議を多くの人々に提示したのである。CERN所長ロルフ・ホイヤー氏はこう発言している。「基礎科学は、人類の知を集積するだけにとどまらず、人類の幸福の基礎をも築くのである」

*Agnieszka Zalewska*

Agnieszka Zalewska,  
CERN理事会議長 (2013年より、現職)

*MS*

Michel Spiro, 2010-2012  
CERN理事会議長

# 素粒子物理学の共同研究

## ヨーロッパが学んだこと：協力は報われる

欧州の精神とは、同一の文化系統に帰属していることを意識し、いかなる他者に対する優位性の意識や、他者を利用するという利己的な隠された動機も持つことなく、全面的な相互扶助の精神においてコミュニティに貢献する意欲を持つことを意味する。」 — ロベール・シューマン1949年

勇気と威厳のリーダー、Mシューマンは国境を越えた平和的協力への障壁を取り除くことに一生を捧げた。彼は、世界史上最も破壊的な対立の直後に、それまで仲間として、また敵として戦って来た両者に向けて訴えかけた。当時、欧州は、長きに渡った恐ろしい戦争の後で、永続的な平和を切望すると同時に、不透明な将来と国境とイデオロギーによる分断に直面していた。科学は、共通の目的や、科学研究活動の価値を共有し、開かれた環境と信頼により協力をを行うことの有効性を実証することにより、欧州統一において重要な役割を担った。

科学は今も障壁を取り除き続けている。世界で発表される論文の3割が国際協力に関連している。そして今日、CERNでは、科学者、エンジニア、技術者、そしてその他の人々が協力して、知識への挑戦へと取り組んでいる。世界の600を超える大学、研究所から集まった知識を追い求める研究者たちは、各国政府、欧州連合、民間セクターとそのメセナ活動によって資金的に支えられている。これらのファンディングは、ルイス・パスツールの言葉「科学に祖国は無い。なぜなら、科学は人類の所有物であるからだ。そして、それは世界を照らすかがり火なのである」という言葉に明確に裏付けられている。

ハイルミノシティLHCは、並外れた技術的な挑戦を必要とするLHCビームの輝度を大幅に向上させる設計検討。欧州のみならず、日本、米国の協力で進められている。



CERNは、まさにこの理念のもとに創設された。1950年のユネスコ会議で、ノーベル賞を受賞した米国人物理学者、イシドール・ラビは「研究者が国際的に協同してより大きな成果を挙げるための、地域共同の研究センターの設立」を提案。満場一致で採択された。そのわずか3年後、欧州12カ国の出資により、CERNが創設された。

現在CERNの加盟国は20を数える。加えて世界60カ国が、共同研究や科学協力を行っている。初代CERN理事会議長のベン・ロックスバイザー卿の言葉「科学研究は、自由に疑い、自由に探求し、そして自由に発見できる『自由な環境』で存続し、繁栄する。これが、この新しい研究所が設立された条件である」が表す姿勢のもと、人類共通の利益に向け取り組んでいるのだ。こういった条件によって、CERNは単なる研究所をはるかに超える存在となったのだ。CERNはイノベーションの発信基地となった。国境から自由になったことにより我々の現代社会を支える様々な技術開発が産み出された。それらの技術については、本書に詳しく記述されている。例えば、ガン治療、医療・産業イメージング技術、放射線処理、エレクトロニクス、各種測定装置、新しい製造工程や新素材、情報技術、そしてワールド・ワイド・ウェブ(WWW)、といった技術である。

これら基礎科学研究の成果は、あらゆるレベルにおいて、国内そして国際経済に刺激を与える。核医学画像市場の規模は、年間100億ユーロと見積もられており、毎年10%の割合で成長している。CERNのLEP実験の共同研究者間の情報共有のために20年以上前に発明されたWWWは、1.5兆ユーロの商業取引を誘発したと試算されている。欧州のTIARAサーベイによると、CERNと世界の200の研究所の基礎科学への年間投資額はおよそ10億ユーロだ。それを考慮すると、莫大なリターンだということができよう。

CERNおよび欧州の研究所が行った素粒子物理研究に起因する経済的、社会的利益の多くは、原子の基本的な構造を研究するために1920年代から30年代にかけて建設された加速器の応用から派生している。加速器は、60年前から産業的な富を産み出し、社会へと還元され始めた。世界の2万台の加速器が、今や、年4000億ユーロに値する商品をつくり出し、滅菌し、検査しているのだ。

これらの数字には、世界の病院で使われている1万台の医療用加速器は含まれていない。これらの装置は、製薬分野ではタンパク質の構造を解析し、新素材開発分野では、原子構造を調査して新素材の設計に使われている。また、医療スキャンに使うアイソトープをつくり出し、深部にある腫瘍を照射し、高速トランジスターにイオンを埋めこみ、炭素合材を鋼材の代替品となりうる強度へと硬化させる。加速器はさらに、貴重な美術品を精査し、考古学の重要な発掘品を調査し、有毒ガスを浄化し、核廃棄物を処理し、食品を殺菌するのである。

しかし、私たちは今、スタート地点に立ち返る必要がある。科学は、欧州を団結させるのに役立った。素粒子物理の欧州戦略は、欧州の素粒子物理の将来ビジョンを構築する取組みである。これは「欧州の取組み」にとどまらず、海外で行われる実験に参加することをも推進する。素粒子物理の研究は、これからも、シューマン、パストゥール、ロックスバイザーが明示した、協力と協働の精神に基づいて遂行されるのだ。



EUROTeVは、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スウェーデン、スイス、英国の研究所が参加するコンソーシアムで、テラ電子ボルトの規模の直線型加速器の設計研究を行う。



EuCARDは、加速器科学・技術に係る37の研究所、大学、企業のネットワークで、世界レベルのインフラ開発の推進を目的としている。



CERNのCMS実験で使われる鉛タンゲステン結晶。同様の結晶が、PET診断装置で使われている。

## 医療とライフサイエンス

知識体系：健康に役立てられる素粒子

今日、素粒子物理のテクノロジーは、多くの医療応用において重要な役割を担っている。粒子加速器や測定器の技術が、病気の予防、診断、治療、予後診断といった医療分野でますます活用されている。

その昔、物理学研究は、X線や放射線治療法をもたらした。最新の素粒子物理学研究もまた、病気の発見や画像処理、腫瘍の治療や延命の新しい方法を提示している。

### より正確な診断、より良いイメージング

クリスタル・クリア共同研究(CCC)では、CERNの強力な測定器「CMS」で使われているシンチレーション技術を小型化する方法を見いだした。それは、ネズミの脳の活動を調べることができるPET装置の開発に使われている。ClearPEMというポルトガルのプロジェクトでは、より正確な乳がんの発見に同じシンチレータ結晶を使っている。8人に一人の女性が乳がんを発症する。そして早期発見は命を救うのである。この新しい方法を使うと、従来のX線マンモグラフィーの5倍の精度で診断を行うことができる。また、不必要な生検や精神的苦痛を与えることになる、擬陽性の診断数を減らすことができるのである。

また、素粒子測定器のために開発されたカロリメータ技術が、脾臓がんの治療に活用されつつある。一秒間に6億回もの衝突エネルギーを記録するために開発された超大型測定器の技術が、光子1個分の光（エネルギー）を3次元的に検出し、例えば発現期のがんのバイオマーカーを超精密に画像化することができる。つまり、患者を巨大なスキャナーの中に入れる代わりに、小さなスキャナーを患者の体内に入れるのである。13研究機関の60名の科学者が、600万ユーロの予算と4年の歳月をかけて、世界一大きな測定器を、世界で最も小さく、最も精密な測定器へと変身させたのだ。Endo-TOFPET-USプロジェクト（内視鏡、陽電子放射断層撮影、超音波、時間飛行分析技術の略称）によって開発された技術では、全身PETより100倍高い精度で診断をすることができる。CERNは、CERMED（医療画像のための、欧州内の研究所、企業、病院の集合体）と提携し、技術のさらなる進歩に貢献している。

CERNのATLAS実験用に開発が進む、シリコンピクセル測定器技術



LHC実験の要請に応える過程で開発された精密測定の方法は他にもある。新しい測定器技術により、外科医や臨床医がより細かな詳細について、はっきりと確認することが可能になったのだ。その技術は、ある種の視覚障害に対して効果があることが期待されている。人間の目は一種のピクセル検出器のようなものだと考えてみよう。CERNのATLAS実験グループの共同研究者の一人は、トップ・クォークを検出するためのシステムを、網膜がどのように光受容体からのシグナルを変換して視覚野へ送るかを研究する手法に活用している。網膜には、22種類を超える神経節細胞があるが、現在、本来は素粒子物理研究の装置として開発された「ニューロチップ」という極小の装置を使って、それらの神経細胞説の実験的な観察が行われている。他の研究チームは、カラー・コンピュータ断層撮影技術を活用して、物体の内部の物体の3D構造を画像化する方法を解明した。最新世代のMedipix3測定器は、通常は白く表示される元素、例えばカルシウムとヨウ素を、波長による色応答の違いを使って識別することが可能だ。これらの技術は、LHCの測定器技術として始まったものだが、今は薬学分野の技術としても認識されており、偽造医薬品の摘発にも使われている。Medipixの改良技術を使ったスキャナーは、患者に投与された2種類以上の造影剤を一度に識別することができる。例えば、血管内のヨウ素と肝臓内のバリウムを同時に識別できるのである。この技術は、2009年にニュージーランドで「MARS (Medipix all resolution system) CTスキャン」として市場化され、ガンや心臓病、血管不全などの研究に使われている。Iseult測定器の技術を用いた「ニューロスピン」はCERNの開発した技術を、フランス原子力庁が脳科学の研究に活用した取組みである。これまでは想像もできなかったレベルの精密なMRI画像を取得することが可能で、神経システムそのものを研究するとともに、多くの患者の命を奪う神経変成疾患の研究にも役立てられている。

## 粒子線ガン治療法開発の主導的役割

素粒子物理の研究は、検出や診断のみならず、治療法にも活用されている。1940年代に、米国の物理学者、ロバート・ウィルソンは、陽子線を使えば、従来のX線治療法よりも効果的に、ある種のガンの治療を行うことができると指摘した。その後、陽子線や重イオン線を使った治療法の開発が、イタリアのPSI研究所やドイツのGSI研究所で開始された。1990年代に、CERNは重粒子線治療に最適化された加速器PIMMSを設計。現在、オーストラリアのMedAustronとイタリアのTERAの2つの治療センターで使われている。CERNではさらに、反陽子ビームの癌治療等医療方面への応用を目指す「ACE」実験にも取り組んでいる。複合粒子である「ハドロン」のビームは、ガン細胞だけを効果的に照射することが可能で、腫瘍細胞のDNAを傷つけ、ガン腫瘍の弱点を攻撃することができる。ACEは、ガン細胞の中の物質に反物質を照射して対消滅を起こさせることにより、ガンにより強力な攻撃を行うことができる。難治性のガン治療法開発にむけた協力が必要であることは明らかである。ENLIGHTは、欧州20カ国とEUが予算拠出する4つのプロジェクトか

らの、300名の科学者（臨床医、物理学者、生物学者、エンジニア）が参加する粒子線治療のコンソーシアムである。ここでは、患者のモニターや、技術の向上、後進の教育、データの交換、プロトコルの確立などを行い、ガン性増殖にハドロンビームを照射した時に、分子レベルでどのようなことが起きるのか、明確に理解する試みが行われている。

新しい測定器技術によって、  
外科医や臨床医は、細部を非  
常にはっきりと確認すること  
ができる

CERNのMedAustronプロジェクトの試験施設



# エネルギーと環境

大きく考える：省エネ・地球環境再生



今日、もともとは基礎科学研究のために開発された加速器や測定器が、公害の抑制や地球環境のモニターといった幅広い分野で応用されている。それらの技術はまた、エネルギー効率の向上など、思いがけない分野でも活用されている。

LEPのビームパイプ内部。金属のリボンがハエ取り紙のような働きをする。この技術は、ジュネーブ空港の屋上のソーラーパネルでも使われている。

「明晰さは（博愛がそうであるように）我が家から始まる」と言われるが、よりよいエネルギー・マネジメントの解決法もまた、ビッグ・サイエンスから始まる。CERNと欧州の主要研究所は2011年、スウェーデン、ルンドの欧州核破砕中性子源研究所(ESS)で行われた国際ワークショップで、加速器の運転に用いる最も効率良く、最大限活用することを表明した。電力の供給や回収、貯蔵、排熱の再利用と節水に専念し、各研究所の二酸化炭素排出量を最小限に抑える方法を実証することにしたのである。しかし、素粒子物理学者やエンジニアらは、所属研究所における活動のみならず、協力して、パワフルな科学を人々の役に立つ「力」へと変える新奇な方法を見いだしたのである。

## より効率的な太陽光パネル

それらの技術のひとつは、当初、太陽光のエネルギー変換を大幅に効率化するために思いついたアイデアであった。これは、LEP加速器とその後継器であるLHCで活用するために完成されたが、また当初に立ち戻っ

て、太陽の活用に使われることになったのである。衝突加速器の中で粒子の加速を最大化するには、地球上で最も完璧な真空をつくり出す必要がある。そのために開発されたのが、飛んでくる粒子を逃さず捉える、いわば「分子のハエ取り紙」だ。現在、ハドロンがほぼ光の早さで飛ぶ加速パイプの内側に敷き詰められている。この真空技術が、太陽光集光装置に活かされている。真空を作る際に使う断熱技術は非常に効率が高く、50%の効率でエネルギー転換ができる。これは、従来の屋根設置型ソーラーパネルの10倍の効率にあたる。ジュネーブ空港には、この真空技術を使ったソーラーパネルが設置されており、1平方メートルのガラスあたり0.5キロワットの電力を供給している。このシステムでは、曇天時や積雪時であっても、パネルの温度を80℃に維持することができる。

## 高温超伝導へ

粒子を加速する超伝導磁石を運転するためには多大な電力を必要とする。大口径の銅のケーブルが、大電流

を運ぶ。ケーブルが長いほど電気抵抗が大きくなり、電圧の降下が大きくなる。そして、加速器が最高レベルのエネルギーで運転している時の、高エネルギー粒子の干渉による事故のリスクも高まる。CERNの超伝導ケーブルは、液体ヘリウムで絶対温度数℃まで冷却する必要がある。これは、長距離の送電には非実用的だ。そのため、CERNと民間企業との協力により、ニホウ化マグネシウム製の超伝導ケーブルの試験が行われている。このケーブルでは、絶対温度25度で同じ電圧の送電が可能だ。これもまだ極低温ではあるが、より安価に実現することが可能となる。この技術がCERNで成功すれば、他の様々な分野での効率化に役立てることができるだろう。

### 廃棄物処理技術の開発

加速器技術はまた、さまざまな処理にも活用されている。韓国、大邱では、排水から有毒な染料を除去するために電子ビームが使われている。また、ポーランドのシュチェチンでは、加速器を使って、毎時27,000立方メートルの燃焼排ガスから、硫酸化合物と窒素化合物を除去している。テキサス州では、電子ビームを使って排水を浄化し、感染性微生物に汚染された下水汚泥を、安全性の高い農業用肥料へと転換する試みが試験的に行われている。原子炉と加速器を使って、放射性廃棄物を処理する研究も進められている。理論的には、ビーム技術を活用して、放射性廃棄物を半減期がより短い核分裂生成物へと変換できる。CERNのTARC実験では、20年前に原理的な検証を行った。そしてこの研究は、中性子飛行時間法実験施設(n-TOF)で継続されている。これらの試みは、グィネヴィア - ミルラ実験として、欧州と日本(JAEA)で試験が行われている。

### 水資源管理から

#### 宇宙素粒子物理学へ

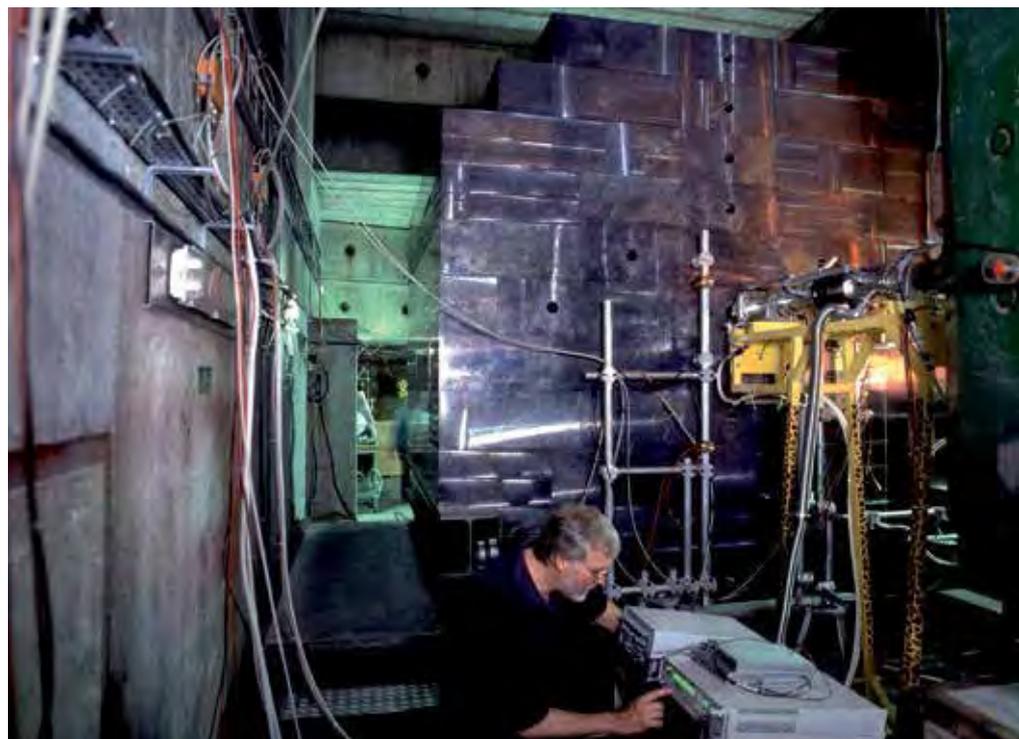
このように、CERNや他の高エネルギー物理実験で培われた知識は、省資源や効率の向上など社会的な利益へと役立てられている。アルプスに埋設されている特殊なセンサーのネットワークは、自然宇宙線を検出する。フランス電力会社(EDF)は、このデータから、正確で最新の積雪分布評価や、湧水量や夏期の融雪量を

予測することができるのだ。水力発電のための水資源管理の効率化は、企業に利益をもたらすだけでなく、顧客や、最終的には国家にも恩恵を与えるものである。

### 環境と地球をよりよく理解するために

高エネルギー物理学研究によって深められた宇宙線に対する理解は、現実的な利益をもたらしている。CLOUDは「Cosmic leaving outdoor droplets (意味? 宇宙がつぶとして野外に残したもの)」の略で、こじつけのように思えるかもしれないが、9カ国18研究所の共同研究プロジェクトで、CERNの霧箱(Cloud chamber)を使って宇宙線と雲の形成の関連性に関する研究を行っている。この研究では、雲が、大気力学や気候と雲との関係性の理解につながるのだ。プロジェクトの略称は、実是的を射ているということになる。欧州の3研究所が共同で宇宙線望遠鏡を運用し、エトナ火山やスプリエール山(グアドループ)といった活火山や、スイスとフランスの地下構造の断層スキャンを行っている。他の共同研究では、地下で起きる放射性崩壊から放出されるニュートリノを観測し、地球内部の謎を探る試みが進められている。

1990年代にCERNで行われたTARC実験では、加速器を使った発電や核廃棄物管理、医療用同位体製造の準備的な研究が行われた



# 通信と新技術

## 発明を発信する



WWWの発明者、ティム・バーナーズ・リーと世界初のウェブ・ブラウザ

基礎研究は新しいアイデアの創出・発展・成長を促す。ワールド・ワイド・ウェブは研究者のコミュニケーション・ツールとしてCERNで発明されたことは広く知られているが、これは氷山に一角に過ぎない。

商業的に使われる加速器技術によって、採油業者は油田を発見し、タイヤメーカーはより良いラジアルタイヤを製造し、空港の保安要員は不審な荷物を特定することができる。また、金属表面を硬化させることができるため、車のベアリングや、股関節・膝などの人工関節を改良することも可能だ。さらに、食品のパッケージを滅菌することにも加速器は使われており、食品の安全な保存にも役立てられている。つまり、加速器技術は、移動手段から昼ご飯まで、私たちの暮らしの様々な場面で活躍しているのである。世界の工業用・医療用加速器が産み出す市場規模は、年間5000億ユーロ（約70兆円）に達する。

### ビッグデータを処理する

研究用の加速器の主要な用途は、情報を供給することだ。このデータは、世界中の物理学者によって共有されるのだが、この情報伝達における難問を解決するために、CERNのティム・バーナーズ・リーはワールド・ワイド・ウェブ（WWW）を発明したのだ。WWWは学問、コミュニケーション、そして世界の商業のあり方を、それまでは全く予想だに出来なかった方法で激変させた。現在のウェブの経済価値は年間1.5兆ユーロと試算されている。しかし、研究は、新しい発明を惹起する新たな課題をつきつける。LHC実験で生成される実験データの量は、年間15ペタバイトだ。この膨大なデータ量に対応するために、2002年、CERNは数千のコンピューターとストレージシステムをつなぐ「ワールド・ワイドLHCコンピューター・グリッド」を立ち上げた（ちなみに、神経科学者が全生物の持つ最も複雑な臓器、脳の情報伝達能力は一見無尽蔵に思えるが、そのデータ量は2.5ペタバイトである）。CERNは現在、欧州内の知力やグローバル・コミュニケーション力を向上させる、数々の共同研究やイニシアチブに、新たな形で参加している。そして、その方法は今後も進化して行くことだろう。

### グリッドを共有する

EGI-InSPIRE は、欧州内の高性能計算機センターや情報処理資源のグリッド間の電子転送のためのインフラを構築・維持する取組みである。この



2010年のLHCコンピューティング  
グリッドの試験でのデータフロー

取り組みでは、膨大なデータ量を取り扱う欧州内の3組織が共同で情報管理の問題を解決すべく、クラウドを形成している。その一例は、災害の現状やその可能性の監視を目的とする、欧州宇宙機関のgeohazard supersiteプロジェクトである。

この規模のリアルタイムの監視では、とてつもないデータ量が毎秒送信される。そのデータの中から、洪水、火山の噴火、地震そして遅発性の干害などの兆候を示すものをふるい分けるのである。これには高い技術要求があるが、政府や救援組織、保険会社、各地の行政区や市民は、まさに「命を救われる」恩恵を得る。もうひとつは、ヨーロッパ分子生物学研究所が構築しているクラウドベースのDNA配列分析用のポータルである。人間、動物、植物、昆虫、そして微生物のDNA情報量は、日々爆発的に増大している。それぞれの生物のDNA塩基対の数は、数十億に及び、各地の生物学者は、それらの最新情報にアクセスする必要があるのだ。ここでもまた、病気や感染症との戦いにおいて、健康を増進し、寿命を延ばし、命を救うために、これらの成果が活かされるのである。HelixNeburaの3つ目の事例が、CERNのATLAS実験である。この実験では、毎秒6億回の粒子の衝突からの情報が収集される。これらの情報を使って、CERNに世界から集まる科学者が毎日100万に及ぶグリッド計算を行う。

これらは、先端科学の取り組みだが、やはり人生を変えるような重要さを持つものだ。なぜなら、このような研究から得られる知識は、最終的には、私たちが世界を理解する方法を決めることになるからである。グリッド、クラウド、そしてウェブも、元は科学研究のニーズから産み出されたものである。しかし、急速にその商業利用が拡大している。2010年現在で、クラウドとグリッド・コンピューティングの経済価値は350億ユーロと見積もられており、2015年には1200億ユーロに達すると考えられている。

### 技術の宝石

しかし、この実用的でない研究が要求する技術は、クラウド・コンピューティングだけではない。それは、最終的により広い分野で応用される、実用的な工学的課題を突きつける。LHCの粒子測定器の中心部奥深くに設置されるシリコン測定器は、低温を維持する必要がある。

**研究は、新しい発明を惹起する  
新たな課題をつきつける。**