

新しい計算科学を目指す

素粒子や宇宙の研究データを世界中のグリッド・システムで解析



高エネルギー加速器研究機構
計算科学センター センター長
野崎光昭

高エネルギー加速器研究機構(以下、KEK)は、高エネルギー物理学・加速器科学・物質構造科学などの総合研究機関として、国立大学法人法により設置された大学共同利用機関法人だ。宇宙、素粒子、原子核、物質、生命の謎を解き明かす加速器科学を推進する一方、総合研究大学院大学による研究者育成にも取り組んでいる。

KEKでは、2009年3月、大規模なデータ・グリッド・システムを伴う新しい共通情報システムを本格稼働させた。これにより、素粒子や宇宙の研究に必要な膨大なデータ解析能力が増強されるとともに、メール、ウェブ・システムなど国内外の研究者を支援する共通プラットフォームが大幅に強化された。

「知」の最前線においてどのようなスマート化が進められているのか、計算科学センターの野崎光昭センター長に伺った。(文・佐藤 譲)

わずか1gの反物質から
スペースシャトルの
外部燃料タンク23個分の
エネルギー？

TXつくば駅から車で20分ほどの筑波研究学園都市の最北部、東西1km、南北1.5kmの敷地にKEKはある。東京ドーム約33個分に相当する広大な敷地に、1周

3kmもある巨大な衝突型加速器をはじめとする加速器や実験装置が設置されている。その一角にあるKEK計算科学センターに野崎光昭センター長を訪ねた。玄関を入ると、ホールの正面に2008年ノーベル物理学賞を受賞した小林誠氏と益川敏英氏の写真がある。小林氏は、KEKの元

素粒子原子核研究所長、現在は特別荣誉教授である。

小林氏・益川氏の写真から目を横に移すと、『天使と悪魔』の映画ポスターが貼ってあった。素粒子物理の研究施設に、なぜ娯楽映画のポスターが？ 野崎教授はこう説明した。

「私は、映画に出てくるCERN(セルン：欧州原子核研究機構)で加速器を使って標準理論を検証するATLASグループという、実験グループに携わってきました。映画にCERNの施設が出てくると、あ、あの場所だ、と分かって

懐かしいということもありますが、CERNを通じてKEKとはどのようなところかを見学者の皆さんに知っていただきたいという広報活動の一環として、ポスターを貼っています」

『天使と悪魔』は、2009年5月に公開されたトム・ハンクス主演の映画である。世界最大の素粒子物理学研究施設CERNから強力な破壊力を持つ「反物質」が何者かによって盗み出された。反物質とは、電荷などが正反対の性質を持つ反粒子から成る物質だ。折しも新しい法王を選ぶために世界中の枢機卿が集まるバチカンに反物質は持ち込まれ、24時間以内に爆発するという。果たしてバチカンに収蔵されている世界最高峰の美術品や黄金財宝はどつなるのか。映画は最先端の科学研究センターを舞台にして知的興奮をかき立てる。

「われわれが扱うものと比べたら、原子など惑星に見えるよ。われわれの興味は、原子の1万分の1の大きさしかない原子核にある」とCERNの所長が原作の中でつぶやく。CERNはそこまで



究極的に微細な粒子を追究している研究施設なのだ。ジュネーブ近郊にフランスとの国境をまたいで建設された施設の地下100mには、『天使と悪魔』に描かれるとおり、ビッグバン直後同様の状態を発生させる巨大加速器施設があり、世界各国の研究者が宇宙の成り立ちや物質の構造解明を目指して研究に取り組んでいる。2008年に、長さ27km弱もあるLHC(Large Hadron Collider:世界最大の衝突型円型加速器)が完成した。これによって、多くの素粒子物理学の謎が解明されると世界中の科学者が期待している。

LHCは、反対方向に光速近くまで加速した二つの粒子ビームを正面衝突させ、構成要素にまで分解する。その瞬間を観測して、宇宙誕生の謎から物質の根本的な組成までを解き明かそうというのだ。

NASAの研究チームが2000年に発表した論文では、反物質は通常の物質と接触した際に莫大なエネルギーを放出し、わずか1gでスペースシャトルの外部燃料タンク23個分に相当するエネルギーが得



られると試算されている。石油などの化石燃料が枯渇した後の無尽蔵なクリーンエネルギーとして反物質エネルギーが使えるのであれば、この上ない。だが、反物質の利用は、実際的には不可能とされる。とはいえ、『天使と悪魔』の映画を観た後だけに、物質の究極の組成自体をエネルギー源にするという発想を生み出した加速器というものに、にわかに興味を湧いてくる。火の利用は地球の生態系に大きな負荷をかけてきた。それを解決し、明るい地球の未来を描いてみせる反物質エネルギーのアイデアには、人類の限りない希望がある。

世界の社会的需要を先取りした 高エネルギー物理学生まれの WWW

「日本におけるCERNと同様の加速器研究施設の一つが、高エネルギー加速器研究機構(KEK)です。KEKの活動の一つは、高エネルギーの粒子を衝突させて宇宙誕生時の物質の起源に迫る素粒子物理学の研究。もう一つは、加速された高エネルギー粒子が曲がる時に放つ強力な光子(フォトン)や、粒子の衝突反応から生まれるミュオン、中性子と呼ばれる粒子を使って物質の極微の構造を調べることです。後者は、たんに物質の立体構造の研究などを通じて、薬品や新素材の研究開発、がん治療などに貢献しつつあります」と野崎センター長。

加速器による素粒子物理学の研究は、いまや何百、何千という世界中の研究者が参加するビッグプロジェクトとなっている。大規模な物理実験は、計画・設計・建築に何年もかかる。さらに、実験とデータ解析に多くの時間を要する。一つの実験に、研究者の研究生生活の

大部分がかけられることもまれてはないという。長期にわたって多数の科学者が参画する高エネルギー加速器研究は、科学研究のあり方を大きく変えた。

「素粒子研究の中でも、最近では専門分化がさらに進み、コンピュータに強い人、装置や部品などを作るのが得意な人、マネージメントが得意な人などがいて、チームを作って研究をしています」

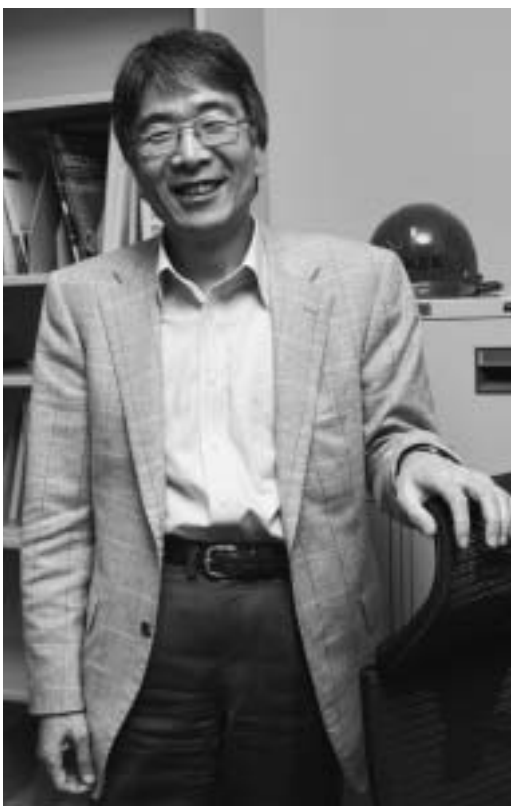
それぞれに得意分野をもつ研究者が役割分担をして全体知を目指すのが、最近のプロジェクト型研究スタイルであると野崎センター長はいう。

「天才が一人で頑張っても、できることは限られています。むしろ世界中から専門家を集めて適材適所につまく組み合わせたチームのほうが、一人の天才以上のことができる可能性があります。オーケストラの団員の一人ひとりには小澤征爾さんではないし、有名なピアニストでもありませんが、全体をつまくオーガナイズすれば素晴らしい演奏ができます。研究活動も、いまはどんどん総合力が問わ

れています」

1980年ごろ、米国とヨーロッパで、世界中の研究者が参加する超大型の加速器建設計画がスタートした。それをきっかけに科学研究は大型プロジェクト化し、計画を円滑に運営するための共通プラットフォームが必要になった。情報交換は単なるメッセージのやり取りではなく、図面や書類ばかりか、テレビ会議の必要もあるほど、綿密に打ち合わせをして建設計画を進めなければならなかった。そのようなニーズから生まれたのがインターネットによるウェブシステムである。

歴史を遡ると、インターネット自体は1969年にアメリカ国防総省の国防高等研究計画局(ARPA)の指揮下に構築された。そのネットワーク・システム(ARPANET)を活用するためのブラウザを開発したが、CERNにいたティム・バーナーズ・リーだった。1989年、彼はCERNの数千人に上る研究者に効率よく情報を行き渡らせるためのシステムを開発することを提案する。彼はグローバルハイパーテキスト・プロジェクトを構想



し、さらにそれを発展させて、マルチメディアも動画も音声もやり取りできるワールドワイド・ウェブ(WWW)のプロジェクトを1991年に公表、同時に世界初のウェブ・サイト<http://info.cern.ch/>を設置した。

WWWの公開に際しては社会全体への貢献を第一に考え、特許を取得せず、使用料も徴収しなかった。もともとは科学研究のために考え出されたWWWだが、現在では社会の基幹的なインフラストラクチャーとして、グローバル化、パーソナル化、さらにはバリュー・チェーン、オンデマンドなどのイノベーションをもたらししている。

このWWWサーバーを日本で最初に公開したのが、KEKの前身である高エネルギー物理学研究所(略称はやはりKEK)である。1992年、研究所や大学の計算機を接続し、解析プログラムの転送や電子メールのやり取りなどのためにホームページを立ち上げた。それに携わった計算科学センターの森田洋平博士は、当時を振り返って次のように述べている。

「高エネルギー物理学の分野では、世界の各地から数百人、ときには千人を超える研究者が集まって、共同で二つの巨大な検出器を建設し、実験を行なうのが一般的です。このため、この分野では早く

から計算機やネットワークが積極的に実験に取り入れられ、これらの技術と密接に結び付いて発展してきました。現在では、この巨大な実験グループのデータ解析や、研究者の間での研究連絡などのために、インターネットはなくてはならない存在となっています」

グーテンベルクの印刷術や産業革命を凌ぐといわれるインターネットとWWWが、ヨーロッパの加速器研究機構CERNで生まれ、日本でも加速器研究機構であるKEKからスタートしたことは、高エネルギー物理学の研究現場で育まれた国際的な共同研究スタイルが、世界の社会的需要を先取りしていたことを物語っている。

共通信報システムの データ処理と解析力は ペタバイト!

KEKでは、2009年3月、大規模なデータグリッド・システムを伴う新しい共通信報システムを稼働させた。これにより、素粒子や宇宙の研究に必要な膨大なデータ解析能力が増強されるとともに、

メール、ウェブシステムなど国内外の研究者を支援する情報インフラが大幅に強化された。グリッド・システムを担当した計算科学センターの佐々木節教授は、次のように語る。

「従来のマシンを強化した結果、共通基盤としてより高い負荷に耐えるものになりました。また、グリッドのミドルウェアの標準化を進めて、国内外で計算能力の共有が従来に増してできるようになりました。グリッド・システムのような相互運用性を実現できる分散処理環境は、学術研究をグローバルに進めるうえで非常に有効なプラットフォームなので、今後とも注力すべき分野だと考えています」

グリッド・システムは、複数のコンピュータを結んで一つの高性能コンピュータを仮想的に創り出す。KEKの共通情報システムにおいては、CERNが中心となつて整備しているグリッド環境の基礎技術と、米国エネルギー省の研究所とIBMが共同開発したソフトウェアを連携させることにより、ペタ10の15乗(バイトという膨大なデータ処理と解析をシームレスに実現で

きる環境が整備された。KEKはその計算資源を、高エネルギー加速器から得られたデータ解析用に広く研究者に提供している。

ネットワーク利用とは別に、KEKではスーパーコンピュータによる理論的シミュレーションにも取り組んでいる。その一つに、素粒子原子核研究所の橋本省一準教授らによる量子色力学の数値理論研究がある。

「私たちは、素粒子の振る舞いを記述した数学的モデルをコンピューター上に作り、数値シミュレーションによって対象への理解を深める理論研究をしています。しかし、対称性の破れを厳密に保つような理論の実行には、従来の100倍の計算量が必要となるため、これまで試みることはできませんでした。それが、IBM Blue Gene[®]の導入によって可能となり、加速器実験で検証されている対称性の破れを逆に数値シミュレーションで追試できるまでになっています」と橋本省一準教授は語る。



IBM Blue Gene

「対称性の破れ」について、ノーベル賞の対象となつた小林・益川理論はこう説明している。粒子と反粒子は対称ものとしてあり、ビッグバンの直後に物質と反物質が接触して、すべては一瞬に光となつて消滅するはずだつた。ところが、ちよつとした対称性の破れがあつて、幾つかの物質が残つたため、宇宙に銀河系や太陽系ができ、地球も生まれた。宇宙が生まれたのは、

ビッグバンの直後に起きた対称性の破れのためだつたのである。米スタンフォード線形加速器センターには、高エネルギー物理学分野の論文を集計するデータベースがある。小林・益川両氏の論文は30年ほど前に書かれたものだが、ここで集計が始まつて以来、単独の論文としては歴代2位の引用数を誇る著名な論文となっている。素粒子物理学の標準理論となつたこの論文のノーベル賞受賞は当然のことだつたと言える。

小林・益川理論で予言された対称性の破れを調べるために、KEKではBファクトリー加速器(KEKB)を建設して実験を行なつてきた。結果は予言と一致することが分かり、2001年にその正しさが証明された。その後も、BooB[®]実験グループ(世界14の国と地域、59研究機関から構成される約360人の研究者から成る国際共同チーム)によって、精密検証と標準理論を超える物理現象の探索に向けて実験を続けている。

2007年4月、「KEKが量子色力学におけるカイラル対称性の自発的破れを厳密に実証」とい



のぞき みつあき:1954年、東京都生まれ。1977年、東京大学理学部を卒業後、大学院で小柴研究室に所属して素粒子実験を始める。DESY研究所(ドイツ・ハンブルグ)の電子・陽電子衝突実験で理学博士を取得。1982年から東京大学助手、加速器実験と並行して宇宙から飛来する宇宙線反粒子気球観測に参加。1991年から神戸大学助教授。LHCでの陽子・陽子衝突実験の準備を始める。1996年から神戸大学教授、2006年からKEK素粒子原子核研究所副所長、2009年からKEK計算科学センター長。

「コースが世界を駆け巡つた。加速器で検証された物質の根本的事象が計算機上で再現されたことは、まさに衝撃的な出来事だつたのである。」

別のプロジェクトでは、超新星爆発の数値シミュレーションが進められている。まだ爆発には至っていないが、条件が整えば、近い将来、コンピュータ上で超新星が爆発するのを見ることができたらつ。

素粒子物理学の発達は、 計算機とネットワークの発達と 一体で進んでいく

「計算科学センターの役割は、機

構の研究活動に必要な計算機資源を運用し、利用を促進・サポートすることにあります。そのため、

機構設立以来、急速に発展する計算機技術を最大限に利用できるよう運営されてきました。また、KEKでは機構外からの多数の利用者があり、各ユーザーは自分が所属する機関からネットワークを通じてKEKの情報資源にアクセスしています。そのようなユーザーにセキュアなサービスを提供することも大切な役割です。これらのミッションを果たした上で、計算科学センターとして目指したいことがあります」と野崎センター長は語る。

「計算機、ネットワークなどのシステムを使うことが本質的に重要な役割を果たすような研究成果を出したいと考えています。例えば橋本先生の数値シミュレーションは、強力なコンピュータのパワーを得て従来にない成果を生み出しました。加速器が素粒子の研究に不可欠だと同じ意味で、この計算機の機能があつたからこそ、この成果が得られた、という計算科学の分野を形にしていきたいと考えています」

加速器は一つ作るために何百億円、何千億円が投資される。しかも建設に10年、20年を要し、チューンアップしながら次のものに繋がるという大きなサイクルで動く。一方、計算機の進化のサイクルは圧倒的に速い。加速器と計算機は高エネルギー物理学の両輪として、装置のライフサイクルという時間軸も考慮しながらバランスをマネージメントしていかなければならない。

インターネットとウェブについても、近い将来、ネットワークのスピードが100倍、1000倍となつたとき、ネットワークは加速器

などの実験装置に接続されて、世界の研究者が交代で24時間、実験装置を制御したり、リモートで実験をするようなグローバル・ラボラトリーが誕生するかもしれない。「KEKが取り組んでいる基礎科学では、事実上二つであるため、国・地域に関係なく共同で研究することができ、計算機とネットワークの果たす役割は非常に大きい。素粒子物理学の世界は計算機と一体になって進んできたので、これらをつまく利用して、知恵を積み重ねながら努力を絶やさないように次の世代にバトンタッチしたいと思っています」

Smarter Planet。KEKにとってそれはグローバルな共通基盤軸、マネージメントとしての時間軸、そして、知の創発軸から成る三次元事象として形を成している。より賢く、より速く、よりスマートに。WWWが世界の需要を先取りしていたように、計算科学という新しい分野から生まれた研究成果が、私たちの生きる地球に、社会に、そしてビジネスの基幹的なインフラストラクチャーに風穴を開けてくれることを期待したい。