

「高エネルギー加速器研究機構」

写真・宮下晃久

つくばエクスプレスのつくば駅より車で走ること20分ほど、筑波山の南に位置する大学共同利用機関法人「高エネルギー加速器研究機構」を訪れた。通称KEKと呼ばれるこの機関の使命は、加速器と呼ばれる施設を用いて素粒子を観測、宇宙や物質、生命の謎を解き明かすことにある。そう聞いて来たが、視界に入るのは、研究棟らしき箱型の建物と樹木ばかりで、施設の全容は杳として知れない。それもそのはずで、敷地の広さは東京ドーム33個分もあり、メインの実験施設である周長3kmの加速器・KEKBは、放射線を遮蔽するため、地下に埋設されているのだという。

この施設は、国内外の研究者に研究の場を提供することで、素粒子物理学の進展に大いに貢献してきたことで知られる。とりわけ昨年は、その成果が脚光を浴びた年だった。2008年ノーベル物理学賞を南部陽一郎氏、小林誠氏、益川敏英氏が受賞したことは記憶に新しいが、小林・益川理論に関わる「CP対称性の破れ」と呼ばれる現象を、実験により確認したのがKEKBなのである。

加速器

地下に鎮座する巨大検出器
Belle測定器

「CP対称性の破れ」について触れる前に、少し素粒子について復習しておこう。素粒子とは、もうこれ以上分けられない最小単位の粒子のこと。物質は分子や結晶からなり、それらは原子からできている。原子を構成するのは、原子核とその周りをグル

グルと回る電子であり、原子核は陽子と中性子からできている。さらに陽子や中性子はクォークからなる。加速器が扱うのは、こうした極微の素粒子の世界だ。望遠鏡や顕微鏡と同じで、より遠くのモノや小さなモノを見ようとすればするほど、装置は巨大化する。しかも、加速器の中で電子や陽子を光の速度に近いところまで加速し、高エネルギー状態をつくり出すことで初めて、素粒子の性質を調べることが可能になるため、装置は大掛かりになる。

「KEKBでは、電子と陽電子を衝突させることで、自然界には存在しないB中間子と反B中間子と呼ばれる物質を大量につくり出します。陽電子とは、マイナスの電気を帯びた電子とは逆に、プラスの電気を帯びた素粒子のこと。ここでは、地下にある1周3kmの2本のリングの中をそれぞれ逆向きに電子と陽電子の塊を光速に近いスピードで走らせ、Belleと呼ばれる巨大な測定器

のある地点で衝突するように設計されています」と、見学を前に、樋口岳雄さん（高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 助教）が教えてくれた。

歩けば1周するのに1時間かかる円形のリングに沿って、2000個以上の電磁石がズラリと並んでいる。これは、電子ビームが広がることなく決められた軌道を走るためのもので、日立製のものも多く使われている。

「衝突によって発生するのがB中間子・反B中間子です。中間子とは、原子核の中で陽子と中性子を結び付けている粒子です。B中間子や反B中間



KEKBで使用されている日立の電磁石。



樋口岳雄さん。現在、素粒子物理学においてホットな話題である、「CPT対称性の破れ」について研究を進めているという。証明されれば、ノーベル物理学賞も夢ではない。



Belle測定器のセンサーに使用されるシリカエアロゲル。軽くて高速な素粒子が透明な物質を通過する際に発生するチェレンコフ光を使って、中間子の識別に用いる。軽くて脆い不思議な触感の物質だ。

Belle測定器。ビーム衝突により現れるさまざまな素粒子を測定するため、異なる機能をもった多数の検出器で構成される。
(写真提供=KEK)



子は、ピコ秒単位ですぐに別の複数の粒子に姿を変えてしまします。つまり、1mmの1000兆分の1以下という微小な世界で繰り広げられる、1兆分の1秒ほどの時間で起こる出来事を検出するのがBelle測定器なのです」(樋口さん)

言うなれば、KEKBで行っているのは、ミニ・ビッグバンなのだ。約137億年前、宇宙はビッグバンにより誕生したとされるが、その際に素粒子から物質が生じた。と同時に、物質と

鏡のような反対の性質をもつ「反物質」と呼ばれる物質も同じ量だけできたはずだという。ダン・ブラウンの

話題の小説『天使と悪魔』にも登場する

反物質は、物質と触れると大爆発を起こしてしまう。ところが、現在の宇宙には反物質がほとんど存在しない。それはなぜか――。

「物質は粒子から、反物質は反粒子からできています。両者の違いは、帯びている電荷がマイナスかプラスかだけで、それ以外の性質にはほとんど違いがありません。にもかかわらず、現在の宇宙に反粒子がほとんど存在しないのは、粒子と反粒子の自然の法則が少し違っていて、その振る舞いにわずかな違いがあるからだと考えられてきました。これが、『C

P対称性の破れ』と呼ばれる現象です。それを、小林・益川両氏はクォークが6種類あれば説明できることを理論的に示しました。そして2001年、このBelle測定器による実験で、B中間子と反B中間子の壊れ方にわずかな差があることを発見、小林・益川理論の正しさを裏付けることができ

素粒子を観測し、 宇宙創成の謎を解く

たのです」

実は樋口さんこそが、この小林・益川理論を実験で証明した研究者の一人なのである。一通り説明を終えると、樋口さんが地下11mの場所に設置されているBelle測定器を案内してくれた。目の前に現れたのは、高さ8m、重量は約2000tもある巨大な装置。こんなに大きいのに、電子と陽電子が衝突する的是はわずか4mmしかない。

「衝突のチャンスは6ナノ秒に1回ほどで、3時間稼働すれば約1・8兆

回も繰り返すことになります。その中から有効な情報を選び取り、中間子がどこで壊れたのか、その粒子の種類は何か、エネルギーと運動量はどれくらいか、といったことを見ていきます。そのためさまざまなセンサーが組み込まれているせいで、これだけ巨大な装置になるんですね。

素粒子は目で見ることはできないし、実際に僕らが扱うのは数字ですから、



KEKの俯瞰写真。円を描いて見える部分の周長は3km。この地下に加速器のリングが通る。
(写真提供=KEK)

モニタールームでは、Belle測定器の稼働状況を24時間モニタリングしている。





Bファクトリー筑波実験棟の内部の様子。奥に稼働中の測定器がある。

KEKB展示室に置かれている電磁石。トンネル内の写真を背景に、実際に使用する機器をそのまま展示。

クライオスタットと呼ばれる、超伝導装置を包むジャケット部分。実際の長さは12mだが、現時点では、半分の長さで断熱性能の試験を重ねているところだ。



加速器を設計するためのシミュレーションを実行するため、計算科学センターにはスパコンが設置されている。
(写真提供=KEK)



実感がわかないこともある。でも、データの中に思いがけない新しい発見をすると嬉しくなりますね」と、樋口さんは目を輝かせた。

ILC加速器を支える 日立の技術

さて今回、KEKの中でも一つ、最先端の研究が行われている場所を訪ねた。国際リニアコライダー（ILC）の研究現場だ。ILCとは、構想では全長30km以上という世界最大の線形衝突加速器で、国際協力のもと2020年ごろの稼働をめざし、現在、設計の真つただ中なのである。KEKB同様、電子と陽電子を衝突させる装置だが、ILCで調べようとしているのは、素粒子に質量を与えたとされる未発見のヒッグス粒子。昨年、スイスとフランスの国境にまたがる地に、周長27kmという世界最大の円形加速器（LHC）が稼働したが、そこで近い将来、ヒッグス粒子が検出されることを見越して、ヒッグス粒子を調べることで、質量のメカニズムを解き明かそうというのがILCの主目的だ。

「KEKBとの大きな違いは、電子ビームと陽電子ビームの通り道が直線であること。円形だと何度も衝突を繰り返すことができますが、直線の場合、衝突は1回きり。ただし、円形に比べてエネルギー損失が少ないので、より高いエネルギーで衝突させることができます。1回の加速で約3000個の電子の塊を打ち込むことができ、それを1秒間に5回繰り返す。その標的はわずか639nm×5.7nmとナノの世界で、衝突の手前でセンシングしてフィードバックをかけて軌道修正するんですよ」と、早野仁司さん（高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設（STFグループ）加速器第四研究室准教授）は言う。

想像を絶する世界だが、さらに困難なのは、ILCではニオブ（Nb）と

いう金属製の空洞を超伝導状態にして運転する点だ。

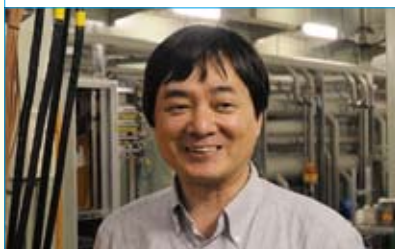
「超伝導状態をつくり出すために、内側は絶対温度2度、すなわちマイナス273℃に保つ必要があります。外側は室温ですから、その温度差は約300度。超流動ヘリウムで冷却したニオブ管に熱が入らないように、ガスヘリウムによる二重の断熱シールドで囲み、ニオブ管が接地しないように筒の中で宙吊りにするのです。いわば、魔法瓶ですね」

ここにも日立の技術が生きている。超伝導空洞用クライオスタットと呼ばれる外側のジャケット部分の開発を担当しているのだ。絶対温度2度に下げる過程で金属が変形するが、電子ビームが通る中心軸がズレないようにしなければならぬため、実装に至るまでにはシミュレーションを重ねるなど、非常に高度な技術が要求されるという。

日立では1976年に建設された、KEKの陽子シンクロトロン（電磁石および電源を皮切りに、KEKBはもちろん、昨年、茨城県那珂郡東海村で稼働した大強度陽子加速器施設「J-PARC」でも、電磁石、電源、そして実験用の施設などを担当、さまざまな大型加速器建設プロジェクトに参画してきた経験がある。そうしたことから、ILCでも重要な役割を担うべく期待されているのだ。

「宇宙にはまだまださまざまな謎があります。ヒッグス粒子はどのような働きをしているのか？ 観測はできないけれど、理論上は存在するといわれる暗黒物質とは何か？ ILCにより、これらの謎を解き明かせればと思いますが、むしろ、謎が深まってしまいかもしれませんね」と、早野さん。

宇宙の謎を解き明かす旅はあまりに果てしなく、終わりはない。ただ、こうした宇宙の謎を解くための科学技術が、さらに発展して陽子線がん治療や非破壊検査など、私たちのさまざまな日常生活に役立っていることも付け加えておきたい。



「この世の中が何からできているのか考えると、本当に面白いですね」と、素粒子物理学の魅力を語ってくださった早野仁司さん。

J-PARCの50GeVシンクロトロン。この装置で陽子ビームを光の速さの99.98%まで加速し、ハドロン実験施設やニュートリノ実験施設へビームを供給する。(写真提供=KEK)

