

科学の
峰々

92

取材日：2016年5月18日
東京科学機器協会会議室

東京大学 素粒子物理国際研究センター 特任教授
理学博士

山下 ^{さとる} 了 先生 に聞く

日本発・世界の物理学を 牽引する世紀のプロジェクト 国際リニアコライダー・ILC 下

聞き手：野村 篤史 日本科学機器協会 広報委員
藏満 邦弘 同 専務理事
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

山下 了 先生のプロフィール



1994年 京都大学大学院 博士後期課程終了
1995年 東京大学 素粒子物理国際研究センター助手
京都大学 理学博士取得
1996年 日本学術振興会海外特別研究員
1998年 CERN/LEP OPAL実験ヒッグス探索グループ統括責任者
1999年 ILCヒッグス物理研究アジア責任者
2003年 東京大学 素粒子物理国際研究センター 准教授
2012年 国際リニアコライダー ILC戦略会議委員
2014年 一般社団法人 先端加速器科学技術推進協議会
連携戦略推進コーディネーター兼
大型プロジェクト研究部会長
2016年 東京大学 素粒子物理国際研究センター
特任教授

タイムトラベルは出来るのです。
そうした“常識を越えたところにある自然の事実”が
物理の面白さ。人間はまだ知らないことばかりなのです。



デカナノからシングルナノへ SLiT-J=東北放射光 施設が開く ものづくりの未来

— 山下先生は、素粒子物理学研究の世界の一大拠点になりうる「国際リニアコライダー・ILC」計画と共に「東北放射光施設計画」SLiT-Jという大プロジェクトにも関わっておられます。SLiT-Jとはどのような施設なのでしょう。

山下 前回お話したようにILCは直線型の加速器です。それに対してSLiT-Jは回転させる円型の加速器になります。ILCは宇宙の始まりであるビッグバンを再現するというもので加速したエネルギーを失わないように直線型をしています。SLiT-Jは回転させる時に周囲に発生する放射光を利用するものです。現在、国の審議会（量子ビーム利用推進小委員会）において、我が国の高輝度放射光施設の整備のあり方について具体的な議論がなされている状況です。

— 日本にはSLiT-Jのような円型の加速器はいくつかありますが、今までの施設と比べてどのような違いがあるのでしょうか。

山下 SLiT-Jの特徴を端的に言うと「ナノレベルで元素の振る舞いを見る」そのレベルが格段に進むということです。また、コンパクトでありながら性能が良く、ユーザー

側の視点を重視した設計と運用方法が期待されています。

現在、最先端の放射光施設である兵庫県播磨のSPRING-8の建設から20年が経ちました。日本は長年に渡り放射光分野で世界最先端であり、SLiT-Jは其中でも最新鋭の施設となるでしょう。

— 原子のレベルで物を調べる事が出来る放射光の特性を教えてくださいいただけますか。

山下 放射光の特性は、SPRING-8やSLiT-Jのように高い性能の放射光施設でシングルナノのレベルで観測が出来ます。また、それぞれの特性に合わせて様々な用途があります。だからこそ国内はもとより世界中でどんどん施設が作られているのです。

放射光はものづくりに必要な元素をナノレベルで見ることが出来、これまでも工業製品の原材料の強度を上げたり、溶接面を改善したり、省エネに優れたエコ素材の開発を進めるなど様々なイノベーションに活用されてきました。省エネタイヤは世界全体で言うと数兆円規模の大変すぐれた省エネを実現していると聞いています。

このように原子のレベルで物を調べることは放射光でしか出来ず、ナノサイエンス・テクノロジーは、これまでの100ナノメートル以下の“デカナノ”のレベルから10ナノメートル以下の“シングルナノ”での観察が出来るようになります。

— ナノの中でもさらに微少な世界の観察が出来るようになるわけですね。なぜ放射光だとそれが見えるのでしょうか。

山下 一般に、物は光の波長が短いほどよく見えるようになります。レントゲンで体の中が見えるのはX線の波長が短いからです。ナノメートル単位の大きさで物質の細部や性質を鮮明に可視化するにはナノメートル以下の光の波長が必要です。その極めて高いレベルのことがSLiT-Jで出来るようになるのです。

そして、原子・分子・ナノの構造や電子が関わる機能が見えることで、新機能を持つ材料やデバイスの開発が期待できます。さらに生命機能や創薬の研究開発への活用が可能になります。

東北だから広がるSLiT-Jと 多彩な分野の連携

山下 実はこのSLiT-Jが東北に出来る事が、その後の展開に非常に大きな意味を持ちます。なぜかという、東北大学が遺伝子情報を研究する「東北メディカルメガバンク」というものを持っているのです。両者がつながることで、創薬の開発が非常にスピーディーに出来ると考えられます。病気がない状態と病気がある状態の遺伝子を比べると、どの遺伝子が病気の原因になっているのかが分かるわけですが、病気の発現を防ぐには、病気を引き起こす遺伝子がどんなタンパク質を作るのかを見極め

産学官との連携



学術・産業の幅広い分野での活用が期待される最先端の放射光施設SLiT-J（イメージラスト）

る必要があります。タンパク質の構造は非常に複雑ですが、放射光によってそれが調べられるわけです。その結果、病気の発現をブロックする薬を作ることが出来るようになります。

—なるほど、SLiT-Jが出来ることで、既にある科学分野の研究もより生かされていくわけですね。

山下 その通りです。今話した遺伝子の研究、タンパク質の研究分野とスーパーコンピューターいわゆる“スパコン”は連携がなされています。また、IPS細胞の研究分野も同様です。そこに放射光の分野もつながっていくことで、日本の科学開発やものづくりは格段に飛躍するでしょう。

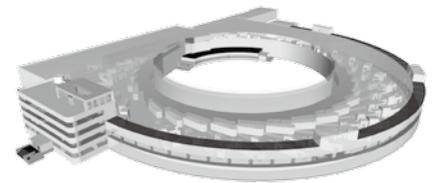
これは日本の産業構造の発展にも大きく寄与するものになります。例えば今、創薬は9割ほどを外国に頼っています。それは日本のお金が薬を買うために外国に流れているわけですが、こうしたことが変えられるわけです。

新材料の開発と創薬、この2つは放射光によって進む2大分野と言えます。材料とひと口に言っても工業製品の材料、化学製品の材料、化粧品などの材料と幅広いものです。またリチウム電池など、電池分野の改良も放射光が非常に寄与しやすいものです。ユニークなところでは「東北の酒蔵」の方々も、SLiT-Jに興味を抱かれていますよ。

—お酒造りの方々がSLiT-Jに興味を・・・それはどういう理由でしょうか。

山下 蔵元にお話を聞くと、毎年水や気温などの条件がほんの少し変わっただけで、お酒の味が変わってしまうそうですが、いつ作っても品質をぴったり揃えたいというのが本心ようです。そういう面でもSLiT-Jの放射光で微量元素を分析することで、役に立てるのではないかというお話を交わしたことがあります。

似たようなことが農業の分野にも言えます。放射光で見ると、例え



ば葉の葉脈のどこまでどんな微量元素が到達しているか、といったことなどはっきりと解析することが出来ます。その結果を応用してよりよい農作物の生産につなげていくことが出来るわけです。

まとめてSLiT-Jを例えるなら、レントゲンのより優れたもの、ということになりませんか。レントゲンはX線で骨のないところを見る物ですが、骨の素材まで何かを分析してしまう、と想像してもらえると分かりやすいかもしれません。

—この施設を建設するにあたって、日本の企業が持っている技術力は欠かせないものでしょうか。

山下 もちろんです。どの科学施設においても多数の企業にご協力いただくわけですが、ILCの規模になるとたくさんの種類の機器をつなぎ、1つのものを造り上げることになりま

産学官との連携

す。そこで関わる企業は1,000社を越える大変な規模になります。

— 山下先生は、そうした企業側、研究者側、さらには自治体・国という行政側の真ん中にたって仲立ちをするコーディネーターを務められていますね。施設的设计も行い、同時に研究者と産業界の考えを交換し、さらには政府など行政側にも意味合いを説明していくなど、まさにプロジェクトの中心にいるわけですね。

山下 振り返るといつの間にかその立場に、という感じでしょうか(笑)。こうした大プロジェクトは研究者、産業界、行政というのが連携しないと成立しないわけです。産業界というのも科学機器業界、大手電器メーカー、建築土木を担うゼネコンなど実に幅広いものとなりますし、また行政の方も自治体があり、国があり、国も政府と議会があります。それに外国との連携もしていかないとイケません。そしてもちろん社会への周知も必要となります。

世界中の“天才”が集結するソフトパワーのピースフルワールドへ

— 世界の素粒子研究の拠点になるILC、そしてものづくりの発展を大きく開くSLiT-Jが東北に出来ると、東北はインターナショナルになるのでしょうかね。

山下 とても活気に溢れた地域になると思います。何度も例に出して

いますが、素粒子研究の世界的一大拠点となってきたスイスのセルン研究所の場合、周辺にあるメイラン市は1954年の研究所設立当時に比べ人口がおおよそ7倍になり、世界130ヶ国から人々が集まる場所となっています。そうした場所に東北がなっていくわけです。

— 世界中からセルンに集まる素粒子の研究者、山下先生はその一人になるわけですが、海外の研究者たちと交流してどんなことを感じられましたか。

山下 素粒子の研究は、宇宙を支配する仕組みや宇宙そのものを解明する取り組みだと申し上げましたが、世界各国には「宇宙の謎を解くためなら人生を捧げられる」といったとんでもない頭脳集団がいることを感じました。このバイタリテは海外では宗教が日常にあることも関係しているかもしれません。彼らからは“宇宙の謎を解き明かすことは神に近づく行為”という思いが感じられます。非常に天才肌の人間が多いです。

そうした人物が、国境を越えて何千人も集まって、不可能に思えることを可能にしようと取り組むわけです。そもそも加速器も過去には不可能と思われていたことです。そんな数千人規模の頭脳集団が東北のILCに集結するようになると考えると、日本国内でも与える影響は非常に大きなものになると思います。

— 「世界のすごい人たちが、世界最先端のすごいことを研究する場所、それが日本の東北」と、世界に知られていくわけですね。

山下 “世界を繋ぐ”ことを詳しく言うと2つの意味合いがあります。1つは技術研究の面から世界を繋ぐ拠点となること。もう1つは、国籍を越えた頭脳が交流する拠点になるということです。

素粒子の研究は世界各国が研究を争う方向ではなく、“最先端の1つのものを世界中の研究者が共同で突き止める”方向で発展してきた、というよりも、そうでないと発展しえない性質のものでした。だから国籍などを越えたピースフルワールドが政治よりも先に生まれ、世界が共通して抱えている課題の解決に取り組むことが出来てきました。世界のソフトパワーとしてのピースフルワールドとも言うべきものではないでしょうか。そうした最先端の頭脳が、世界のありとあらゆるところから、しかも地方に集結してやがては街を形成していくということは、素粒子以外のプロジェクトではなかなか考えられないことだと思います。

地方創生という意味合いも非常に強いものであることはもちろんですが、世界的にも日本が科学の分野で貢献していく大きな意味合いを持つことになるわけです。

世界から見た日本人の印象は“お人好し”

— 世界の研究者と交流がある

山下先生から見て、日本が諸外国から信頼される要素はどんなところだと感じていますか。

山下 海外から信頼されている点はモラルの高さです。約束を守り裏切らないところ。逆に言うと、欧米は何事にも契約書が必要になるというわけで、日本人のモラルの高さにはどの国の人も驚きます。

しかし一方で、尊敬されているかというところとは言い切れず、何でも「うん」と答えてしまう「お人好し」だと思われている印象を受けます。日本人はフレンドリーでいい人たち、でも尊敬されるまでではない、というところが外国の人が抱く正直な印象でしょうか。

その理由の1つとして欧米では“中身がない相手とは議論しない”という考えがあるのに対し、日本は“議論をする前に仲良くしよう、仲良くなってから議論を探っていこう”という考えがあると思います。日本人は個人の思いを素直に伝える意識を持つことが大切のように思います。

物理学を志したきっかけは、あの大予言!?

— そもそも先生が物理学を志したきっかけは何でしょうか。

山下 2冊の本の影響がすごく大きいのです。1冊は小学校5年生の時に、町の古本市で手にしたアインシュタインの伝記です。子供向けの文字が大きい本でしたが、相対性理論という言葉も出ていました。

当時、理論の内容はさっぱりわかりませんでしたし、物理という言葉すらもよく知らなかったのですが「理科をすごくつきつめてゆくと、すごいことが出来るのだ」と漠然としていながらも大きな衝撃を受けたことを覚えています。

もう1冊は、高校生の時に祖父が与えてくれた「水素原子は、なぜ壊れないのか?」という本です。

— おじいさまは、高校生に随分難しい本を与えたのですね。

山下 私の祖父は、北大の獣医学部で寄生虫を研究していた研究者でした（祖父は日本の寄生虫研究の第一人者だった山下次郎氏）。なぜ祖父がその本を渡してくれたのかはよく分からないのですが、簡単に言うと「ものは全て波で出来ている」という事についての本で、これはすなわち量子力学のことなのです。

実は素粒子の真髄は2つの原理があって、1つが時間と空間の関係を説明したアインシュタインの相対性理論。もう1つが、ものは全て波で出来ているという考えの量子力学。偶然なんですけど、素粒子のことを意識する前にその原理に触れることが出来ていたのが物理学に進む大きなきっかけになったというのが…“表向きの理由”です。

— 表向きの理由というと、本当の理由は何だったのでしょうか。

山下 本当の理由は・・・「ノスト

ラダムスの大予言」が私を物理の世界へ導いたのです（笑）。私はノストラダムスの大予言を信じきっていて、1999年に地球は滅亡するのだと思いこんでいたのです。だから滅亡する前に地球を脱出しなければいけないし、脱出するにはロケットを作らなければいけない、そのためには急いで物理を勉強する必要があるという極めて切実な理由で物理の勉強に取り組んだのです。実はこれが本当の理由です。（笑）

— 実にユニークなきっかけですね。そこに、おじいさまが与えてくれた本などの影響が重なって、次第に物理の研究の道に進まれたというわけですね。

山下 祖父が研究者だったので、ものごころつく頃から“研究”ということが身近にありました。実は父も大手鉄鋼メーカーに勤めながら溶接関連の研究に従事していました。“研究すること”が特別というわけではなく、身近に感じていたことは影響しているかと思っています。

常識を越えたところにある“自然の事実”こそ物理の面白さ

山下 とはいえ、高校生の頃まで物理はいくつもの法則を覚えて計算するという作業が面白くなかったのです。

しかし大学に進むと、ナニナニの法則といくつも覚えてきたことの原理原則は1つだ、ということに触れてだんだん興味が湧いてきまし

産学官との連携

た。実は素粒子はその集大成とも言えるもので、あの現象、この現象、いろいろな現象をすべてひとつで説明できる、というものなのです。

— 大学に進んでから、発見や喜びに出会ったわけですね。

山下 「時間は伸び縮みする」と知ったこともその1つでした。と言っても、なかなか感じ難いものですし、時間の進み方は世界どこでも共通と思われていますよね。

ですが、私達が飛行機で地球を1周して同じ場所に戻ってくると、時計が指している時刻はズレを起こしています。またカーナビなどには人工衛星を活用したGPSシステムが使われていますが、人工衛星にはわざと地上と時間の進み方が違う時計が搭載されています。それは地上と人工衛星で時間の進み方が違うからです。

この「時間は伸び縮みする」という考えは相対性理論のおおもとでもあるのですが、実は、人類は未来の世界にだって行くことが出来るのです。

— 未来の世界に行ける?それはタイムトラベルということですか。

山下 過去に戻る事が出来ませんが未来には行けます。それは非常に早いロケットに乗って宇宙の彼方に飛び出して行って地球に戻ってくると、地球で進んでいる時間と、宇宙で自分が過ごしている時間の進み方が違うので、未来の地球

に戻ってくることが出来るのです。

昔、『猿の惑星』という映画がありましたよね。宇宙を旅してある星にたどりつくと、実はそこは文明が滅んでしまった未来の地球だった・・・というお話でしたが、これは物理学的には正しいのです。ただタイムトラベルでも過去には戻れませんが、そういった時間のことなど、常識とされていることを越えたところに、自然界の事実があると知った瞬間に、初めて物理が面白くなりました。

若い世代に、科学の最先端を伝える大切さ

— 先生は理科教育についてどんなことが大切だと感じていますか。

山下 私自身も出前授業で高校に行くとき「現在の最先端のことを若い学生に語って欲しい」ということを、先生にお願いしています。

現在のカリキュラムでは、日本史や世界史のように科学の歴史をたどる形で教えるように組まれがちで、古いことから始まり最先端のことはようやく最後に出てくるのです。そうではなく、まず先に最先端の科学ではどんなことが行われているのか「スゴイ!ということが現実にあるのだ」ということを知って戻ってから戻って欲しいと願っています。「今の時代は、こんなすごいことが起こっているのだ」「携帯電話ってこんな技術で出来ているのだ」とか、そういう“スゴイこと”や驚きを知らずに、受験のために

勉強をしましょうといっても、面白味を感じることは出来ないわけです。まず「人間って、科学ってスゴイ!」ということや「でも宇宙から見るとたいしたことはないのだ」ということを感覚的に感じてもらうと、自然に興味を覚えるようになりますよ。

科学機器も産・学一緒に最先端の開発を

— 科学機器メーカーにご要望などがございましたらお願いします。

山下 科学機器業界は我々が日頃からお世話になっていて、色々な機器を使わせていただいているわけですが、「一緒に開発する」という流れを作りたいと考えています。

また「メーカーの優れた技術を教えて欲しい」という希望もあります。

私が携わる研究分野で新たな科学機器に求めるニーズには“ちょっと今の時代では無理じゃないか”とお感じになることもあるかもしれませんが、実はそれが次の時代に必要とされる科学機器となったということもありますので、時代の先取りだと思って一緒に挑戦いただければ、ありがたいと思っています。

— ありがとうございます。

学术界にとどまらず、広い分野で期待がかかる世界的なプロジェクト。その中心で尽力されている山下先生のご活躍に期待しております。

次号「科学の峰々」では、
慶應大学 先端生命科学研究所
堀川 大樹先生にお話をいただきます。