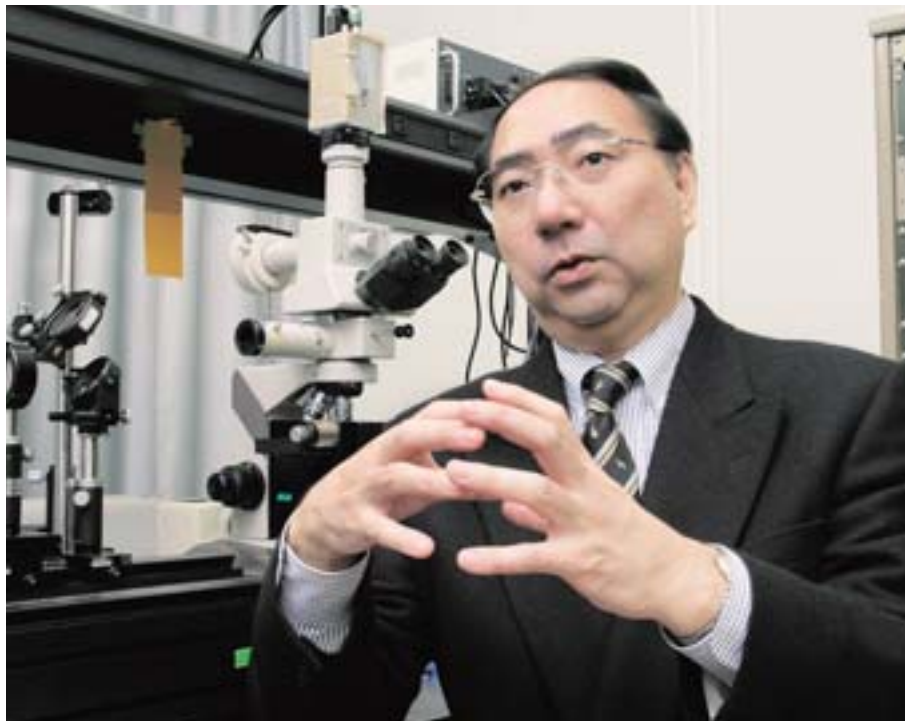


誰も見たことのないナノの世界へ
光が創り出す新しいフロンティアに挑む



フェムト秒レーザー加工機等の実験装置が集積する北大電子科学研究室内の三澤教授

北海道をベースに活動を続けながら世界を舞台に活躍する人々にスポットを当てるこのコーナー。

今回は、先端研究フィールドとして注目を集める北海道大学「電子科学研究所」の三澤弘明教授の登場です。極微空間における「光」と「物質」を制御して活用する研究を積み重ね、今年6月には熱を介在させない新しいレーザー加工装置の開発・製造・販売をするベンチャーも立ち上げるなど、アグレッシブな活動を続ける理学博士です。

先生の研究室では、ナノというとても小さく小さな世界から、大きな可能性が広がっています。

北海道大学
電子科学研究所教授

三澤

弘明

●プロフィール●

三澤 弘明 理学博士

北海道大学 電子科学研究所教授
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業
「量子相関光子ビームナノ加工」プロジェクトリーダー

- 1955 東京生まれ
- 1979 東京都立大学工学部工業科学科卒業
- 1981 筑波大学大学院理工学研究科理工学専攻修士課程修了
- 1984 筑波大学大学院化学研究科科学専攻博士課程修了
- 1984 米国テキサス大学 博士研究員
- 1986 筑波大学 化学系 助手
- 1988 新技術事業団（現科学技術振興機構）増原極微変換プロジェクト 研究員
- 1991 新技術事業団（現科学技術振興機構）増原極微変換プロジェクト グループリーダー
- 1993 徳島大学工学部 助教授
- 1995 徳島大学工学部 教授
- 1997 徳島大学大学院工学研究科 教授
- 2001 12月より科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）
「量子相関光子ビームナノ加工」プロジェクトリーダー
- 2003 5月より北海道大学 電子科学研究所 教授
- 2004 6月株式会社レーザーシステム取締役（研究開発担当）就任

- 専門/光化学・レーザープロセス
- 研究分野/分子操作、DNAデバイス、マイクロ光デバイス
- 研究内容/「光」と「物質」の新しい相互作用を解明するとともに、それに基づく新しいフォトニックデバイスに関する研究
- 研究内容のキーワード/量子相関光子、フェムト秒レーザー、フォトニック結晶、レーザーマニピュレーション、DNAチップ
- 受賞/1993年仏モエヘネシー・ルイヴィトン国際科学賞における「ダヴィンチ賞」受賞

三澤弘明研究室 <http://misawa.es.hokudai.ac.jp/>

原子レベルで物質の構造を操作するナノテクの世界

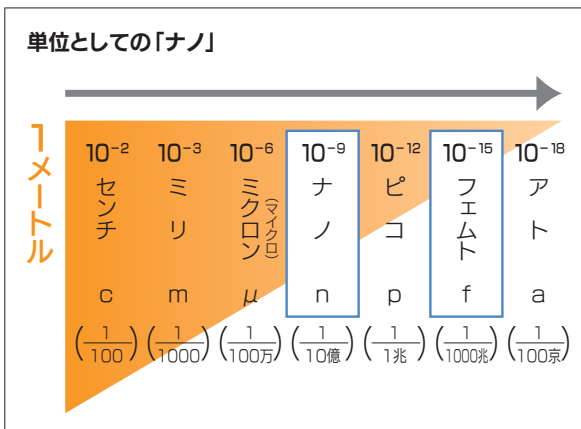
——ここ数年、急速にナノテクノロジー（ナノテク）という言葉が脚光を浴びていますが、三澤先生の「フェムト秒レーザー」を使った微小空間での研究もまさしくそうですよね。ナノテクノロジーとはいったいどんな世界なのでしょう。

三澤 ナノテクノロジーは、ナノメートル（nm）単位の極微細な世界で物質の構造を操作・制御して活用する技術の総称で、そこから新たな可能性を生み出そうと、国際的にも注目されている分野です。

「ナノ」とは、10億分の1を表わす単位で、1ナノメートルとは、10億分の1m。分子くらいの大きさを表わします。1mが基準ですから、その1000分の1はミリですね。10で3回割り算するので10のマイナス3乗がミリ。マイナス6乗がマイクロン。その後が有名なナノです。ナノは10のマイナス9乗になります。その下がピコで、さらにその下がフェムト。10のマイナス15乗という単位がフェムトです。

——直接目では見えない世界ですね。その下はあるのですか。

三澤 あります。アトという単位がありますが、我々が実験で使っているフェムト秒レーザーは目に見える可視光のレーザーなので、それができる時間的限界というのがフェムト秒。時間の単位にあてはめると、1フェムト秒は1000兆分の1秒となり、その短い時間だけ光る*パルスがフェムト秒レーザーというわけです。その下のアト秒のパルスになるとX線じゃないと発生させられないんです。今、可視光のフェムト秒レーザーのワールドレコードが4.数フェムトぐらい。その数フェムト短く



するというのがとても大変なことで、もうほぼ限界に近づいています。

——製造業や医療分野等、多方面でレーザーは使われていますね。ちょっと素人的なのですが、ジェームスボンドが登場する60年代のスパイ映画「007ゴールドフィンガー」で、工業用レーザーを破壊兵器として描いていて、レーザー光の熱で焼き切るというようなのが一般の人のイメージだと思うのですが、それに対してパルスを短くするという研究はどういうことから始まったのですか。

三澤 昔ビデオがない時には、相撲などできわどい勝負になると分解写真がありましたね。分解写真はストロボをたくわけです。ストロボが短ければ短いほどその瞬間、瞬間をシャープに切り出せます。長くたいていると動いちゃいますから、ぶれてしまいます。フェムト秒のレーザーというのは、非常に短い時間を高い精度で計測したい。そういったところからスタートしているんです。

例えばレーザー光を鉄に当てると、中の電子がその光を吸収して高いエネルギー状態にポンと上がりますが、時間がたつとまた元の状態に落ちます。その電子が落ちる時にエネルギーを放出して熱が出ますから、この繰り返しで連続して熱が溜まってきて、アチチという状態になってドロドロに溶けちゃう。だから切ったところを顕微鏡で見ると熱で溶けて丸くなっています。それだとレーザーを当てた所以外にも熱によるダメージが入る。それは今、半導体加工などでは使えない。ところがフェムト秒ぐらいの非常に短い時間だけレーザー光を照射すると、瞬間的にすごく高いエネルギーが出ます。そうすると電子が落ちて熱が出る前に次の光がどんどん来ますから、電子は落ちようと思っても落ちれなくてどこかへ行ってしまう。電子はマイナスですから、電子がどこかに行ってしまうと、そこにプラスの電気だけが残って、プラスとプラスは反発して爆発する。普通爆発というのは熱が出るんですが、熱の出ない「冷たい爆発」が起きるんです。

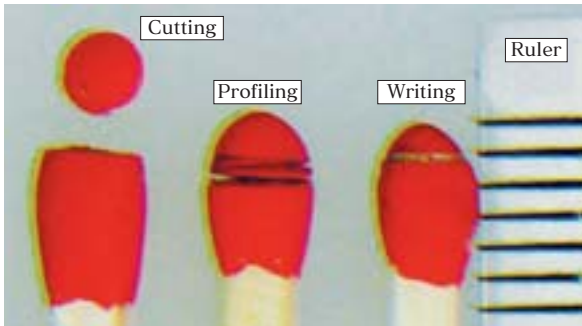
1000兆分の1秒が生み出す新しい加工と新しい産業応用

——先生の研究室を紹介するホームページに、マッチの発火剤の部分をフェムト秒レーザーで切断している画像があって大変驚きましたが、そういう原理なのです。

三澤 そうです。フェムト秒レーザーでマッチの先が切れるのも、光が当たった部分の電子をどんどん飛ばして

※パルス：脈動。短時間だけ供給される電流や光を意味する

いるので、残った物が静電的に反発して物がなくなり、熱が出ない。熱を介在させないで加工できることがフェムト秒レーザーの非常に大きな特徴です。例えば、通信機能を持ったICチップが定期券などに入っていますが、あれは将来的には0.3ミリ×0.3ミリぐらいの大きさになるんです。それを一つのウエハー（半導体でできた基板）から切断して作るわけです。さっき言ったようにレーザーが熱に変わる前に加工できるので、ダメージが入らずに無駄なく切断することなどにもこの技術は使えると思います。さらにこれまでのレーザー光線の一番の欠点であった透明材料が加工できるという特徴もあります。従来のレーザーは鉄とか洋服の生地 of 裁断にも使われていますが、材料が光を吸収して熱が出ないと加工できなかった。可視光はガラスなどの透明な材料に吸収されませんから、ガラスは切れなかったんです。ところがフェムト秒レーザーだと、例えばガラスでも表面は傷つけずに、焦点が合った中だけを局所的に加工することができます。



フェムト秒レーザーによる加工

—— それはどんなところに利用できるのですか。

三澤 この間台湾に国際会議で招待されたときにも話をしたのですが、トレーサビリティ（生産履歴の管理）に有効です。今海外でもすごく問題になっているのは、コンピュータの中に組み込まれたチップ（集積回路）を、製品検査する前に従業員が横流しすることがあるようで、それはブラックマーケットに入って、非常に安い値段で流通します。不良品だった場合はシステムが全部ダウンして、訴訟問題になりかねないといったことは世界各国で起こっていて、そういった時に透明材料で、中にロット番号等を書き込めると、改ざんの有無やいつどこで生産されたかを追跡できるんです。

基礎研究を活かした 北大発ベンチャーへの挑戦

—— 今年の6月に縲レーザーシステムというベンチャー企業を立ち上げたとお聞きしましたが、どのような会社なのですか。

三澤 実際にフェムト秒レーザー加工装置を開発して販売するのと、委託加工というのがありまして、委託加工して、それをクライアントが評価して、よければ加工機を買ってくれるということで、この間もクライアントの方に非常に高く評価してもらいました。「世の中に出ているレーザー加工機では気に入った製品がなかったんだけど、これはいける」という評価を頂いたんですね。我々のノウハウだと、光をどういう角度で、どう入れると、物がどのように加工できるかがシミュレーションできるんですね。それに沿って設計してやると今までの装置ではうまくいかなかった部分が、理想に沿った形で加工できる。ですからそういう意味では大学の中の基礎研究というのが非常にうまく生かされています。

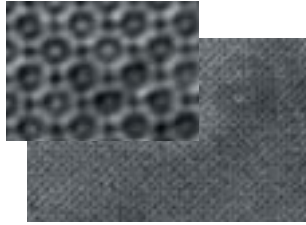
—— 基礎研究によるデータの蓄積が産業化への鍵なのですね。

三澤 応用研究にだけ着目しちゃうと、こういう研究というのは多分ダメになってしまうと思います。やはり基礎的な研究を積み重ねて、これはこういう物に使えるとか、ああいう物に使えるということを幅広く持っていないと産業用にはつながらない。我々はそれぞれの材料に対して、レーザーを打ち込んだ瞬間から加工が終わるまで、どういう状態変化を起こしていくか、それは電子とか原子核とかの動きも含めてリアルタイムに時間分解で見たいんですね。

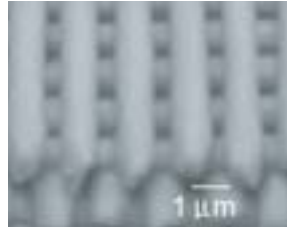
例えば、サファイヤってありますよね。日亜化学にいた中村修二さんが製品化したことで知られる青色ダイオード、あれもサファイヤの基板の上に窒化ガリウムという結晶を成長させて、ブルーに光らせるんです。サファイヤは産業分野では非常に大事な材料ですが、結晶になっていて非常に固く、機械加工もしにくいと言われていました。それが、フェムト秒レーザーを当てるとアモルファス（非結晶）になっているから加工できるということが最近分かってきました。それまではレーザーを当てると何か変化が起きて、割れやすくなるとか、穴が開きやすくなる、でも何故か、ということがよく分からなかった。ところがいろんな測定・計測を重ねて、電子レベルのところまでメカニズムがはっきりしてきた。メカニズムが分かればいろんな物に応用できます。サファイヤの表面に字を書いたり、内部に何か書いたりということもできるんですね。

フェムト秒レーザーを当てたサファイヤをスライスして、超高分解能の電子顕微鏡で見た時は、「これ、アモルファスになってる！」とすごく感激しました。フェムト秒レーザーの強度が十分な部分はアモルファスになっているんだけど、それよりちょっと低い所は結晶のまま。その境目が1ナノメートルか2ナノメートルで、非常に

フェムト秒レーザー照射により高屈折ガラスの中に形成したダイヤモンド構造を有するフォトニック結晶



フェムト秒レーザーを光硬化性樹脂に集中照射して作製したマイクロギアホイール



左と同手法により作製した3次元フォトニック結晶

微妙な条件の差で結晶のままか、アモルファスに変わるのがか決まってしまうんです。それが私にはすごく驚きだったし、「みんなに見せたいな、科学の教科書に載せたい」と思ったほどです。

—— ご承知のように北海道経済は全国でも厳しい状況にある中で、先生の研究やベンチャーに対する地域の期待は大きいと思われませんが、地域との関わりについてどうお考えですか。

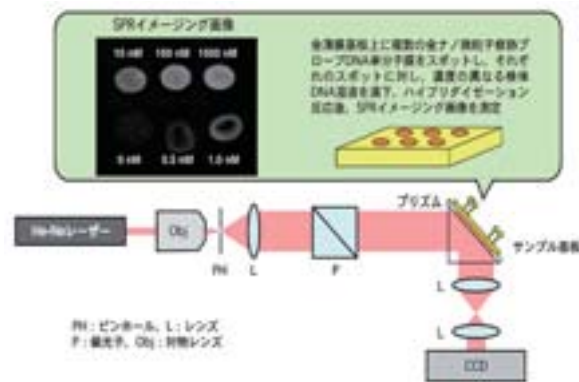
三澤 我々が関係するところは製造業。この(株)レーザーシステムも製造業に関係してくるわけですが、北大発ベンチャーというのだいたいバイオとIT。ITはなかなか雇用を生み出してくれない。バイオというのは成功するのにすごく時間がかかる。製造業だと、例えば自分たちだけではできない様々な治具の工作や制御ソフトの発注を道内の企業にかけたりするわけです。そうすると雇用も促進されるので、その意味でも製造業を立ち上げなければいけないと思います。北海道って製造業が少ないんですよ。

また、フェムト秒レーザー加工のほかにも、それで作る小さい構造のDNAチップも研究しています。DNAをフェムト秒レーザー加工で作った穴の中に流して、それを分析するシステムを作ることを将来の目標として持っています。これは、犬などの様々な動物の遺伝子を簡単に検査できるチップとして利用できると考えています。日本ではペットの遺伝子を調べないままに繁殖させているような状況があるので、ペットを飼いたい人が、動物の血液をチップに乗せて遺伝的な病気を持っているかどうかを簡単に調べられるようなものを製品化したい。そうすると、製造業だけでなく、バイオに関連しても、北海道の地域に貢献できるのかなと思います。そういう

「科学技術の進展は日本社会の底上げに欠かせません。それを支えるのは人材の質にかかっているだけに、現在の理系と文系の文化が分断された状況を危惧しています。両者を繋ぐ最低限の科学的な基礎知識が必要です。そのためにも教育の在り方が非常に重要になってきます」と三澤教授。



た社会貢献ということと、やはり研究。特に私は、電子科学研究所にいますので、研究所に期待されているのは突き抜けた研究力。それが世界レベルに達していないと研究所にいる意味がなくなっちゃうんですね。



図：DNAチップからのSPRイメージング画像

さらに先の世界へ。誰も見たことのない探索的な研究に挑む

—— 先生の研究チームが、科学技術振興機構の推進プロジェクトとして力を注いでいらっしゃる「量子相関光子ビームナノ加工」についてお教え下さい。

三澤 最先端のフェムト秒のレーザー加工技術を使えば、例えばサファイアには0.1ミクロンとか0.2ミクロンとかで線を引けるんですよ。でもそれは研究室レベルの話で、産業応用はまだまだ。しかし、100ナノメートル(0.1ミクロン)以下の領域の加工は、フェムト秒のレーザーでもかなり難しいんです。産業界はまだ、フェムト秒のレーザー加工の領域には入っていないのですが、基礎研究の分野はそれより先を見据えなければなりません。

そこで、細かい加工をするためには波長をどんどん短くしていく、という今までの考えに対して、量子相関という非常に特殊な光子(光の粒子)を使って、さらに細かい加工開発をめざす、というのが「量子相関光子ビー



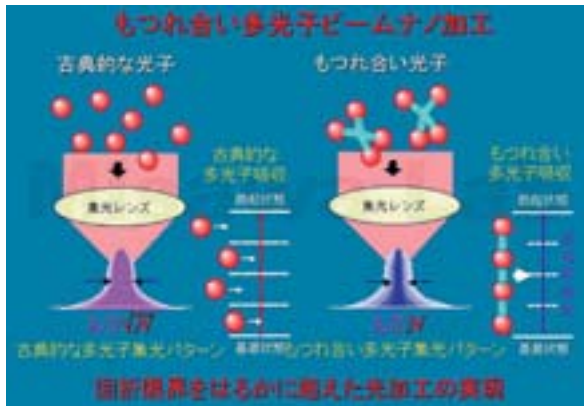
「夏の気候は自分の体型にもあっているし、札幌は暮らしやすい街ですね。でも冬のツルツル路面はとてもコワイです。横断歩道の白い線が氷の下に見えるなんて…、スケートリンクでしか知りませんでしたから(笑)」

ムナノ加工」なんです。光は、波としても考えられますし、粒としても考えられるという両方の性質を持っています。これは量子力学の基本的な考え方で、そういう性質を利用して原子スケールの極微の世界の事象を研究することで、新しいことができると考えています。

いかにたくさんの光子に相関性を持たせるかということで、加工分解能が決まるというのがこの研究で、理論的には実証されていますが、まだ実現した人はいないんですね、残念ながら。この下のイラストでは光子が4つ繋がっていますが、それを8個にするとか、10個にすることで加工分解能が飛躍的に向上します。10個にすれば波長の10分の1の加工ができるので、800ナノメートルのレーザーを使っても80ナノメートルの加工ができることになります。

—— 研究はどのように進んでいるのですか。

三澤 今は量子相関光子を大量に発生することができないので、それを高い効率で出せるような光源開発を行っています。相関を持った光子を計測する技術や少ない光子で加工できるような、材料開発も含め加工技術全般にわたる研究を進めています。だから10年後、20年後を見据えた研究になると思います。量子相関光子そのものがまだよくわからない探索性の強いテーマなんです。



このような量子相関光子を応用することで、究極の暗号と言われている量子暗号や量子コンピュータも実現できると考えられていて、今世界中で活発に研究されています。それらの光源開発にも我々の研究は使えると思います。

—— 最大のライバルというのはどこなのですか。

三澤 量子加工も含めて量子暗号や量子コンピュータは世界中で研究が進んでいます。例えば量子ナノ加工に関してはアメリカは巨額の資金を投入しています。日本では国家プロジェクトというのはまだないですね。私はJST(科学技術振興機構)の援助を受けていますが、みんな個別で研究しているのが現状。基礎的研究であっても、最後はこういうストーリーで産業への応用が描けますよといったプロジェクトには予算を付けてほしいと思いますね。

大学発ベンチャーはベンチャーで面白いのですが、大学の使命ってもっと先を行かなければいけないと考えます。社会的ニーズを捉えて、そのために北大がどういう基礎研究をすべきかというロードマップをそれぞれの分野で策定する。そして例えば、光分野では東大よりも北大のほうが優れているといった得意分野をつくれればいいですよ。独立法人化されて大学が独自の改革をやっていいといわれている今は、それができるチャンスなんです。マーケットは世界に広がっていて、日本の中で競争しているわけではないですから。ノーベル賞がとりたいたいか、トップレベルの技術の産業化を計りたいと思ったら、要するにスタンフォードやハーバード、マサチューセッツ工科大、オックスフォード出身の研究者やエンジニアと追いつけ追い越せの勝負をしなきゃいけないんですね。それにはその産業技術の科学技術動向をきちんと把握しているスタッフが私は必要だと思います。つまり、科学技術に対する深い知識と、社会的ニーズに応えられる技術を生み出すために異分野の人とコミュニケーションできる力を持った人ということです。

—— 先生は昨年、徳島大学の研究室からスタッフも含めて北大の電子化学研究所に移られたそうですが、どのようなメンバーなのですか。

三澤 スタッフは、自国でレーザー開発の研究をやっていたリトアニア人や、半導体、分析化学、マイクロ加工と、異なる得意分野を持った専門家が集まっています。ですからバイオ応用や通信応用への発展も考えられますし、いろんな切り口で研究を進められるのが特徴かと思います。

やっぱり、「あいつのところでやっている研究はすご

いなあ」と世界レベルで評価してもらえるような研究をしていきたいですね。

何を見たいか、が原動力。 子どもたちに科学の夢を 見せるのも自分の役割

—— 近年、未来を担う子どもや学生たちの科学離れが問題になっていますが、三澤先生は子どもの頃、理科は好きでしたか。

三澤 中学の時ですが、理科の先生の影響で、非常に興味をかき立てられたことがありました。ちょうどその頃、電子レンジが家庭に入り始めて「電子レンジって何で物が温まるか、お前たち分かるか」って言われて、「何でなんだろうな」と。中学生だと分子という意識はないわけですよ。だけどその時、分子はとなると熱くなる、ということその先生は非常に易しく教えてくれたんですね。「あー、そういうことなのか」と。

それは授業とは離れているんですが、そこからですね「理科って面白い」と思ったのは。

最近、「なぜ若者が科学に興味を持ってないのか」といろいろ考えるところがあって、やはり理解できないから興味も持てない。そんなことから近いうちに高校生ぐらいに興味を持てるようなフェムト秒レーザー加工の本を書きたいなと思っているんです。全部正確に伝えようとすると、すごく難しくなっちゃうので、簡単に分かりやすく紹介した本を作りたい。正確なところは大学に入って専門的に勉強しますでしょ。でも興味を持ってもらわない限り、大学にも来てくれないのでね。

——サイエンスの研究へ進まれた一因として、そのような動機づけがあったのですね。三澤先生の専門は光化学ですね。

三澤 ええ、私はレーザーが専門ではないんです。化学でも光化学。大学院を出た後、アメリカに2年間博士研究員で行って、帰って来た頃に、教科書を読めばほとんど理解できてしまう普通の光化学現象を追ってもしようがないと思ったんです。その時にもう工業用レーザーもあったし、アメリカ製のフェムト秒レーザーも出始めていて、今、阪大の応用物理の教授をやっている増原先生から「普通の光化学じゃなくて、小さい領域に光を絞り込んで、そこで何か面白いことが起きるだろうからやってみないか」と言われて。それはもう非常に小さい領域に光を絞り込むので、光の粒が分子にパラパラに当たる今までの状態とは違うんです。さきほど話したように、ものすごい数の光の粒が電子に当たるので、違う現象が

いろいろ見られるんですよ。で、「これは面白いな」と。普通の光化学では理解できないような現象がいっぱいある。光をドンと当てたときに物質がどういう風に変わるかというところに着目して、研究をスタートしたんです。新たな分野を開拓しないと世界と競争できない、という強い思いがありましたね。今でもそれが原点で「何か新しいものをやりたい」ということでずっと来ていますね。

—— 最後に、レーザーシステムの会社の抱負と、科学者としての今後の夢を教えてください。

三澤 与えられるもので何かをやっていると、研究の視点が変わったり「自分が本当に見たいものは何なのか」わからなくなってしまうのではないかという思いが最近あります。自分が本当にやりたい研究があってそれを達成しようと思うと、自分の基礎研究を産業界にフィードバックし、それをビジネスにして、そこから基礎研究にお金をまたフィードバックするようなシステムが必要なんじゃないかと考えるようになりました。例えばレーザーシステムが業績を伸ばして、何10億円か研究に投入できるよと言われたら、基礎研究に投入して頂いて、その研究を思いっきりやらせてもらう。しかしその技術は最終的にビジネスと繋がるような形で3年、5年、10年、20年のタームで、会社の新技術やノウハウにフィードバックする。もちろん、レーザーシステムのビジネスが上手くいけば、私が見て「この研究は面白い」「この研究は産業に必ず役に立つから出資しましょう」とか、大学の他の基礎研究に対してもちゃんとお金を投資して、次のビジネスに繋げていく。そんなシステムづくりの一つの可能性としてレーザーシステムがあるんですよ。もちろん株主の方にきちんと配当を出しますけどね（笑）。

自分の研究では、量子相関光子に関しては分かっていない部分が多いので、量子相関を持った光子の挙動を見ること。そこが純粹に見たいところですね。誰も見ていないので、自分がやった研究をみんなに示して「どうだ」って言いたいんですね。「こんな新しい現象が見えた」ってね。だから「え、そんなこと、あったの」「お、すごいじゃん」と言われると「じゃ、もっと次」ってことに。それが新しいことを生み出す原動力になっていると思うんですよ。

—— 「何を見たいか」という強い好奇心が先生の研究開発の原動力になっているのですね。今日は普段馴染みがないと思っていたナノの世界と現実世界との繋がりを認識できる興味深いお話を伺えました。今後も「研究開発とビジネス」の忙しい日々が続きそうですが、さらなるご活躍を期待しております。今日はお忙しいところありがとうございました。