

アイ・サイ問答教室



ナノって何なの？

日本語もずいぶん上手になった留学生のアイさんとサイ先生が、大学の研究室で話をしています。

アイ 「サイ先生、英語の『rhinoceros (ライノセラス)』は日本語で何と言いますか？」

サイ 「サイだよ。サ、イ。」

アイ 「サイ先生のサイと関係はありますか？」

サイ 「うーん、良い着眼だけど、…関係ないよ。」

アイ 「(残念そうに) そうですか。もう一つ、聞いてもいいですか。」

サイ 「ダメと言っても、いつものように聞くでしょ？」

アイ 「(日本語ジョークがわからない、でも気にせず) ナノって何なのでしょう？」

サイ 「おっ、次は何か本質を突く質問だね。」

アイ 「私はいつも真剣な疑問だけを聞いています。」

サイ 「(微笑みを返しながら) ごめん、ごめん。では、アイさんにとって、ナノって何ですか？」

アイ 「質問に対して、質問で返すのは、先生のいつもの作戦ですか？」

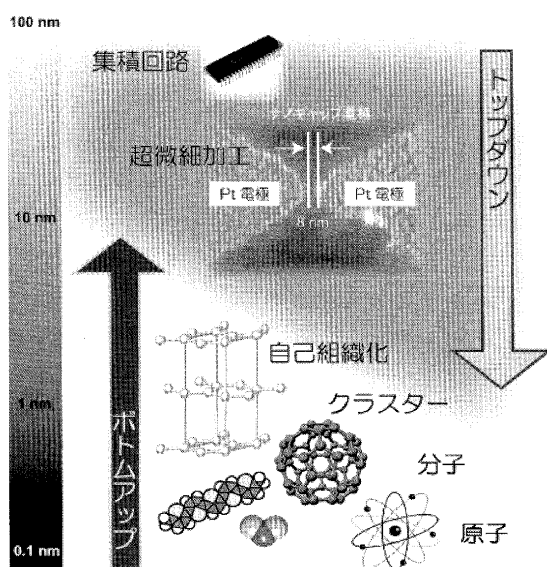
サイ 「いやいや、アイさんの持っているイメージを聞いてから、わかりやすく説明するためだよ。」

アイ 「うーん、そうですね、『とても小さいもの』という認識です。」

サイ 「なるほど、それはナノメートル・スケールといわれるような極微の世界のイメージだね。」

アイ 「ミリ、マイクロ、ナノという順番ですね。」

サイ 「これを見てごらん。」



第1図 マイクロ・ナノスケールにおけるトップダウン手法とボトムアップ手法の概略図

アイ 「(サイ先生が取り出した第1図を見ながら) いろいろと描いてありますが、トップダウンとボトムアップ、この向き合う二つの矢印は何ですか？」

サイ 「非常に小さいスケールでの構造を、思い描いた通りに作り、新しい機能を導き出すためには二つの手法が考えられる、というのを表しているよ。」

アイ 「新しい機能ですか？」

サイ 「すべての物質は原子で構成されている、といていいよね。そして、たとえば光学的や電気的な機能などは、ナノメートル領域で発現していることに注目されているんだ。ちなみに以前は、このような機能発現という研究分野は『メゾスコピック (mesoscopic) 領域』と呼ばれていたんだよ。」

アイ 「メゾスコピック？」

サイ 「中間を意味する用語で、物質科学では『バルク (bulk)』と『ミクロ (micro)』の中間領域を指すんだけど、このスケールでの構造制御によって、物性や機能が大きく変化することを応用して、新たな製品が開発されるようになったんだ。そしてメゾスコピック研究分野は、学術的にはナノサイエンス、その実用化技術はナノテクノロジーと呼ばれ、自由自在に機能を制御する技術の総称になりつつあるね。」

アイ 「自由自在になんて本当に可能なんですか？」

サイ 「良い着眼だね。まだまだ、その一部に過ぎない、というのが本当のところかな。たとえば、従来技術の限界として、10 nmを下回る半導体集積回路の実現方法は十分に確立されていないし、すべての機能を制御しているとまではいえないだろうね。」

アイ 「でも10 nmのサイズって、すごいですね。」

サイ 「確かにその通りだね。トップダウン型は、これまでの半導体シリコンの集積回路に代表される微細加工技術によって、目的の機能が発現するサイズまで小さく作っていくことなんだ。そして既存技術の進展は、物理的な加工限界に達している、といわれながらもずっと続いているからね。」

アイ 「どんどん新しい手法が出てくるのですか？」

サイ 「発案されることもあるし、改良もされ続けているんだよ。そして別の用途も考えられているよ。たとえば、このような半導体微細加工技術で、一つの基板上で電気的な機構と機械的な機構を複合させたものをMEMS (Micro Electro-Mechanical System) と呼び、小型センサや光スイッチに応用されているよ。最近では、この加工精度が100 nm以下となり、NEMS (Nano-) とも呼ばれているよ。」

アイ 「技術とともに新しい名称も産まれているんですね。」

サイ 「そうだね。さらにシリコンやガラスの微細加工技術を用いて、生体物質を効果的に反応させるデバイスをラボラトリーオンチップというけど、試料の注入、混合、分離、検出などの化学分析を行う際に、これまでのような大きな実験室を必要とせず、まさに持ち運べる化学実験室として、医療などの分野にも応用が期待されているんだよ。」

アイ 「ナノは工学と医学が近い領域なのですね。」

サイ 「近いというか、たとえばこのチップは、ラボオンチップ、マイクロラボ、マイクロTAS、マイクロ化学チップ、マイクロリアクターなど、様々な名称があるんだよ。これは他分野にまたがっている研究のある証しであり、名称が統一されていないことは、まだまだそれらが別々に発展しているからだろうね。」

アイ 「電気、機械、化学、医療、いろいろなのですね。」

サイ 「そして、もう一つの基軸のボトムアップ型だけど、その代表例は、分子の合成であったり、最近では走査プローブ顕微鏡による原子操作があるね。」

アイ 「原子、1個1個の操作が可能なのですか？」

サイ 「実現された順番としては逆になるけど、初めて実空間で原子の像を取得して、そこに原子が在ることを証明したのは、この走査プローブ顕微鏡の一つの走査トンネル顕微鏡 (STM; Scanning Tunneling Microscopy) なんだ。一つの原子が観測できるということは、一つの原子を制御できるという証拠じゃないかな。」

アイ 「実空間？原子のゾウ？elephant (エレファント) ですか？」

サイ 「えっと (汗)、そうではなくて、画像、イメージの像 (ぞう) だよ。それに実空間というのは、われわれの、普通に生活している空間だと思えばいいよ。少し専門的な話になるけど、X線や電子線の回折パターンから、Si基板の(111)面と呼ばれる表面ではSi原子一つ一つが再構成して7×7構造を成していることはすでにわかっていたんだ。シミュレーション解析でも予測されていた。でも直接の形状として、その原子配置を確認したのは画期的なことだったんだよ。」

アイ 「確かに、何を観測したのか、は裏付けが必要ですね。別の評価方法でわかっていて、ついにそれらを明らかにしたんですね。」

サイ 「原子1個1個が“見える”というインパクトは大きくて、1986年、研究発表のわずか数年後に、STMの開発者たちはノーベル物理学賞を受賞したんだ。」

アイ 「ボトムアップは華々しい感じがしますね。」

サイ 「原子一つ一つから、設計図の通りに作り上げることは、研究者の夢の一つだからね。でも実際には、これまで紹介したトップダウン方式／ボトムアップ方式という区別もなく、その両方が必要になるだろ

うね。もっと言えば、ナノテクノロジーに限らず、それぞれの研究分野の融合が必要不可欠だね。」

アイ 「幅広い研究ですか？」

サイ 「幅が広いというか、原点回帰のニュアンスが近いかな。これまで述べたナノというスケール、その領域で発現する現象は、これまでの物理を包括的にしつつ、もっと物理として丁寧に扱わないといけないね。たとえば、その構造の質量に対して表面積が増えるから、その影響を考える必要があるね。」

アイ 「表面積が増えると考えべき影響とは何ですか？」

サイ 「われわれの生活している、目の前の空間では重力の影響を第一に考えるけど、ナノスケールでは、表面張力や静電気力の方が支配的になることもある、ってということだよ。」

アイ 「どんどん複雑になるような気がします。」

サイ 「だからこそ、ちゃんと基本に戻って考える必要があるね。われわれのなじみのあるスケールでアナロジーを確立し、マイクロ、ナノのスケールに徐々に移行する必要もときにはある。それに、複雑な物理現象も理論として確立して、制御に利用できれば、便利なツールにきつとなるよ。」

アイ 「サイ先生、ナノっていうのは、すごいですね。」

サイ 「確かにすごいね。ただ万能な技術、ツールとして活用するためにやるべきことも多いよね。」

アイ 「どういう意味ですか？」

サイ 「ナノのスケールになれば、いや、もう少し大きくても、あるいは小さくてもいいけど、そこで起きている現象を正しく理解する必要があるよ。そして正しい理解のためには、丁寧に計測し、解析して、シミュレーションも必要になるよね。当然だけど、再現性もとても大事だね。」

アイ 「なるほど、やるべきことは多い気がします。」

サイ 「いやいや、まだまだあるよ。ナノスケールで発現する量子性とその制御が筆頭にあげられるかな。また熱の影響もしっかりと考えないとね。小さくなればなるほどエネルギーは集中しているわけだから、発生する熱が及ぼす、多重的な効果の影響は無視できないよ。小さくすることが高性能化・高速化につながるのは事実だけど、何度も言うように、その領域で起きている現象を正確に把握しないとね。」

アイ 「なんだか技術進歩のためには、多くのことを勉強しなくてはいけないんですね…。」

サイ 「もちろん勉強も大切だけど、きっとそれだけではなくて、『できる！』という研究者の信念も大事じゃないかな。ちなみに次号の特集は『ナノ・マイクロテクノロジーの制御理論と応用』だから、先輩研究者の熱い想いを楽しみにしたいよ。」

アイ 「はい、では楽しみにします。」

(佐藤 宣夫*)

* 京都大学 工学研究科 電気工学専攻