

## 「ナノサイエンス」の始まりはクリントン大統領時代のアメリカにあった **ナノテクノロジーの技術、原子1個を動かす技「原子ピンセット」とはどんなもの？**

ナノサイエンス(ナノテクノロジー)のはじめに、サイエンスで扱うものの大きさのスケール(宇宙が $10^{26}$ m、銀河が $10^{21}$ m、太陽系 $10^{13}$ m、太陽 $10^9$ m、地球が $10^7$ mなど)は巨大なもの(宇宙)から極小なもの(細胞が $10^{-6}$ m、細胞内の器官 $10^{-7}$ m、原子は $10^{-10}$ m)まであるのです。

ナノサイエンスは $10^{-9}$ m(なんと10億分の1メートル!)という微細な世界を扱う科学なのです。ナノサイエンスの始まりはクリントン大統領が2000年に「ナノテクノロジー国家戦略」としてスタートさせたものです。IT(情報技術)、バイオテクノロジー(生命科学技術)に続く第3のキーテクノロジーが「ナノ」の技術だというアメリカの構想から始まったのです。これが全世界に広がり、現在のナノサイエンス・ナノテクノロジーへとつながるのです。ナノテクノロジーへ道には2つあります。ひとつは大きなスケールから小さなスケールへのアプローチと、小さなスケールから大きなスケールへのアプローチです。

前者のアプローチへの技術として、電子工学の技術である、IC(集積回路)、LSI(大規模集積回路)の製造技術があります。そこで使われている微細加工技術が飛躍的に発展し、人類はナノサイズ( $10^{-9}$ m)の加工技術を手に入れることが出来たのです。写真焼付けと選択エッチングの技術を活用した回路縮小技術がこの微細加工技術のもとです。この技術の始まりはマイクロサイズ( $10^{-6}$ m)の加工技術から始まり、現在ではナノ( $10^{-9}$ m)の世界にまで達したのです。大きいスケールから小さなスケールへの技術の発展があったのです。

もう一方のアプローチに、エリック・ドレクラーが考えていた「分子機械」の概念があります。これは、原子・分子1個ずつ組み立てて、ひとつの機能を実現する「分子機械」です。このような小さなものをくみ上げて大きなものへと進める発想もあったのです。原子1個ずつを組立てようとするには、原子1個を取り扱う技術が必要になります。その技術すらわれわれは獲得できてきて、ナノテクノロジーが、この「分子機械」の発想を現実化できる段階にもなってきたのです。

### **生物(細胞)は、自然が作り上げた「ナノテクノロジー」の成果！**

「分子機械」の発想は、生物が長い歴史を経て進化し実現した自然が作ったナノテクノロジー成果です。遺伝子情報をもとにたんぱく質を作り出し、細胞の器官を作り出す。個々の細胞が組みあがって生命体へと発展してゆく。エリック・ドレクラーの分子機械の発想を自然がいつも簡単に実体化できているのです。人間は、現段階では、分子機械を作り上げる技術までは出来ていないのです。自然の「生物」はすごい能力を持っているのですね。

### **「分子機械」を作るには、原子1個を「見る、つかむ、動かす」技術だ！**

「分子機械」を作る技術は、分子・原子を自由に思い通りに組み立てることにつながります。このため、分子・原子を1個ずつを、「1個ずつ識別し」、「それを捕まえ」、「特定の位置に動かし」、「つなぎ合わせる」という各段階の技術が必要になります。

原子・分子1個を見分ける方法は、走査型トンネル顕微鏡(STM)が使えます。非常に鋭い先端(原子1個単位)をもつ針を物質の表面に近づけると「トンネル効果」という現象が現れます。トンネル効果とは、物質表面の原子と針が接触していないのに、その間に電流が流れる(トンネル電流)現象です。針の先が原子に近づいたとき、電流が流れる。電流が流れることで原子がそこにあると分かるわ

けです。この技術を使って原子1個ずつを映像化することができるのです。

## 原子をつまむ「ピンセット」を実現する「走査型トンネル顕微鏡」

STMの針に近づいた原子は、針と力を及ぼしあいます。この力を利用して特定の原子を摘み取り、思い通りの位置へ運ぶことができます。この技術は、原子をつまむ「ピンセット」といえる技術です。

この原子をつまむ「ピンセット」の実験例として、次のようなものがあります。ひとつは、ニッケルの上に適当に散らばっているキセノン原子を自由に動かし、キセノン原子を一行に並べるものです。そのSTM映像も見ることができました。また、銅の上にコバルト原子を楕円状に並べ、その楕円の中に、別のコバルト原子を1個を入れると、楕円内の対称位置にコバルト原子の唇気楼（幻影）がSTM映像に見える現象です。この現象のSTM映像も紹介されました。このような原子の唇気楼が出現する原因は、量子力学で説明できる現象だそうですが、量子力学については、3年生の物理の授業で基礎の部分だけですが習います。そのときまでのお楽しみにして置いてください。最後に、シリコン半導体に作り上げた原子サイズのガリウム原子の細線（東大工学部の一杉太郎先生によるもの）のSTM映像も紹介されました。ガリウム原子がきれいに一行に並んでいる映像です。原子1個が連続にならんだ究極の細い電線といえるでしょう（その線に沿って電流が流れる）。基盤のシリコンには当然電流が流れません。

## 「DNA」の二重らせん構造を直接見ることはできるのか！

生物の世界でのナノサイズの分子機械については、前回の金澤先生の「生化学」の話でも紹介されていました。生物の細胞内の器官は全て分子機械といえます。それらの設計図であるDNAが分子機械の代表例でしょう。生物はこのようなナノのサイズの構造物を簡単に作り上げているのです。しかも室温、一気圧のもとで！

大阪大学産業科学研究所の川合研究室による「DNA」のSTM映像は、DNAが二重らせん構造で絡まった姿が見て分かるものでした。DNAは2本鎖の接合部の塩基配列が遺伝情報そのものです。この塩基が正確に決められた順番で並んでいるのです。このDNAのシステムで細胞でのDNA複製、RNAを使ったたんぱく質の合成システムなど、見事な分子機械を実現しているのです。現在の科学技術ではまねが出来ない生物の分子機械はナノテクノロジーの参考書ともいえるのです。

「原子サイズの構造物（DNA）」をみることが出来る「走査トンネル顕微鏡（STM）」はナノサイエンスでの重要な実験装置といえます（安いもので数百万円だそうです...）。

## 「原子を見ることが出来る顕微鏡」のニューフェイスたち

原子サイズ（サブナノメートルの世界）を見ることが出来る顕微鏡は「走査トンネル顕微鏡」だけではありません。同様の機能を持つ顕微鏡として次のような顕微鏡も作られているそうです。

「走査原子間力顕微鏡」、「走査摩擦力顕微鏡」、「走査磁気力顕微鏡」など詳しい仕組みは分かりませんが、数多くの新型顕微鏡が開発されているのだそうです。詳しく知りたい人はインターネットなどで調べてみるのも面白いかもしれませんね（Googleなどで上の単語を検索してみると良い）。

## 「ナノサイエンス・ナノテクノロジー」の将来は自然科学全般に拡大する！

ナノサイエンスの進展は非常に速いものです。しかも、物理・化学・生物などの教科という狭い分野にとらわれるものではありません。自然科学全体における基礎技術となるべきもので、各分野で応用研究がどんどん進み、「未知の世界の探索」、「人類の英知を高める」、「無限の応用が開ける」など、これからの科学技術全体を支えてくれることになりそうです。なお、筆者（志）にとっては、知的好奇心の部分より、最後にある「無限の応用が開ける」の部分でどんなものができるのかが楽しみです。なんといっても、新しいもの好きの性格なので...ね。（志）

※ 連携通信第14、15号に赤井先生が尼崎市出身とありましたが筆者（志）の勘違いでした（先生は宝塚です）。