

## 顕微鏡で原子の世界をのぞいてみよう!

大阪市立科学館学芸員 上羽 貴大

### はじめに:世界は原子できている

わたしたちのまわりにあるすべてのもの、それどころかこのわたしたちも、原子という、とても小さなつぶつぶでできています。みなさんも学校で習ったり、どこかで聞いたことがあるでしょう。では、その原子のすがたを、みなさんは見たことはありますか? 原子はぜったいに目に見えないほど小さいものです。「原子ひとつひとつをこの目で見たい」というのは人類の夢でした。じつは、今から30年ほどまえに、夢のような顕微鏡(けんびきょう)が発明され、原子がきれいにならぶようすを手にとるように観察することができるようになりました。それどころか原子をひとつずつつまんで動かしたりすることもできてしまうのです! この特集では、そんな夢のような顕微鏡をご紹介します。

### 原子はとても小さい

そもそも原子はどれほど小さいものなのでしょう。水素原子の直径は、およそ0.1nm(ナノメートル)です。これは1mm(ミリメートル)の1000万分の1くらいです。

もの大きさとくらべてみましょう。たとえば、ピンポン玉もたくさんの原子が集まってできています。その原子ひとつを見分けるのは、宇宙から地球をな

がめて、地球のどこかにころがっているピンポン玉を見分けるのと同じむずかしさです(図1)…そういったら、ピンとくるでしょうか? そんな小さいものを、いったいどうやったら見ることができるのでしょうか。

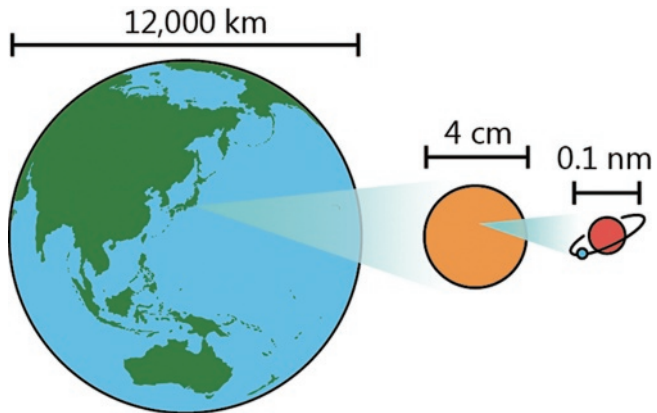


図1:地球とピンポン玉と原子

## ふつうの顕微鏡では原子はみえない

みなさんは虫メガネをつかったことはありますか。レンズをのぞくと、小さいものを大きくみることができます。レンズをうまくかさねると、さらに小さいものもみえてきます。それが顕微鏡(けんびきょう)です。学校でよくつかわれる顕微鏡(図2)は、観察したいものにあたった光が、レンズをとおりぬけ、目に大きくうつしだされます。このように光をつかう顕微鏡を光学顕微鏡といいます。

光学顕微鏡につかうレンズを厚くすると、観察したいものをもっと大きくみえます。では、ものすごく厚いレンズをつくれれば、原子も目にみえるほど大きくうつしだせるのでしょうか? じつは、どんなにレンズをくふうしても、光の波長より小さいものをみることはできないのです。目でみえる光の波長はだいたい500nmくらいなので、500nmよりも小さいものを見ることはできません。しかし、原子は500nmどころか、さらにその1000分の1くらいの大きさでしかないのです!

光学顕微鏡では原子をみることはできません。お手上げか…と思いきや、今から30年ほど前に、光学顕微鏡とはしくみのまったくちがう顕微鏡が発明されました。

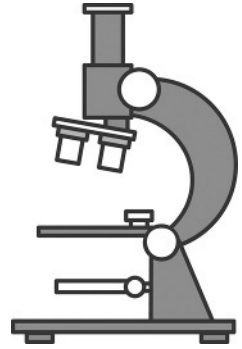


図2: 光学顕微鏡

## 原子がみえる顕微鏡

走査(そうさ)プローブ顕微鏡とよばれるその顕微鏡は、光もレンズもつかいません。そのかわりにつかうのは、よくとがらせたほそい針です。この針を、観察したいものギリギリまで、ゆっくりと、1nmくらいまでちかづけます! すると、針(もちろんこの針も原子があつまってできています)と観察する原子のあいだに、ほんのわずかに電気がながれたり、原子からひきつけられたりしりぞけられたりする力を感じます。この電気や力をたよりにして、ならんだ原子のデコボコをなぞっていくのが、走査プローブ顕微鏡です。走査とは「なぞるようにしてじゅんばんに見ていく(スキャンする)」、プローブとは「しらべる」という意味です。針にな

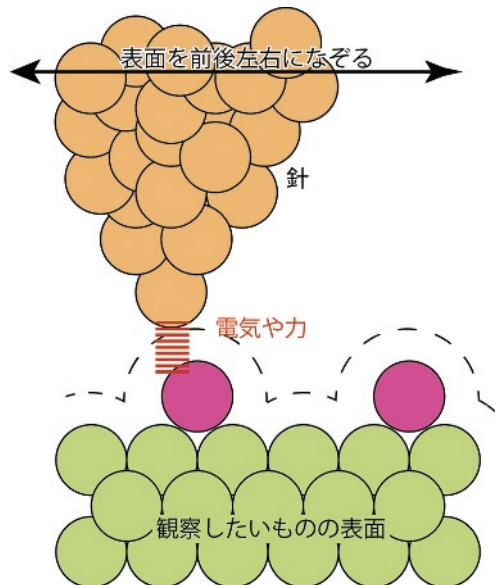


図3: 走査プローブ顕微鏡のしくみ

がれる電気(これを「トンネル電流」という)をしらべる顕微鏡は走査トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscopyの頭文字をとってSTM)、針のかんじる力(これを「原子間力」という)をしらべる顕微鏡を原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopyの頭文字をとってAFM)とよびます。

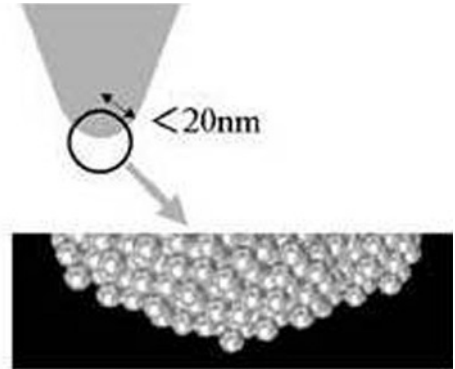
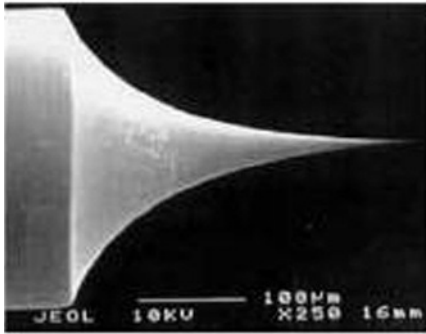


図4: 走査プローブ顕微鏡でつかわれる針([1]より)

走査プローブ顕微鏡の針はタングステンやプラチナ、ケイ素などでつくられています。えんぴつをよくとがらせれば小さな字が書きやすくなるように、針の先を原子レベルでとがらせることが、顕微鏡にはだいじです(図4)。

走査プローブ顕微鏡がさらにすごいところは、ただならんだ原子を観察するだけではなく、この針を使って原子を持ち上げ、動かしたりすることもできることです！

図5は、走査プローブ顕微鏡をつかって観察されたものです。白く見えるつぶは、キセノンという原子！針をつかってニッケル板のうえにキセノン原子をきれいにならべ、「IBM」という文字をつくっています。アメリカのIBM基礎研究所で観察したこのデータは「世界でいちばん小さい広告」です。

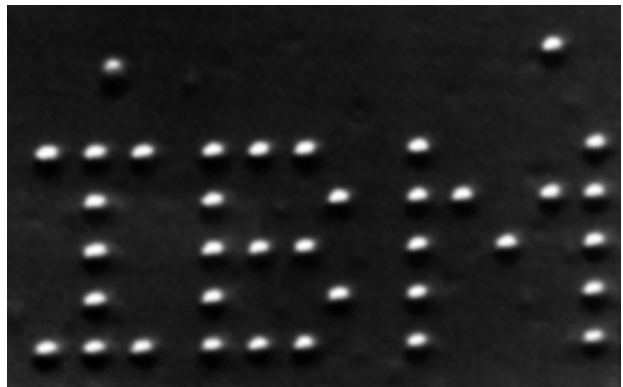


図5: キセノン原子で書かれた「IBM」([2]より)

さいしよの走査プロー

ブ顕微鏡は、こちらIBM基礎研究所でGerd BinnigとHeinrich Rohrerによって1982年につくられました。2人はこの発明で1986年にノーベル物理学賞を受賞しています。

### 走査プローブ顕微鏡で、ここまでできる！

原子がいくつかあつまったものを「分子」とよびます。みのまわりにあるものは、だいたい、原子があつまってできた分子がさらにあつまってできています。分子になってもやっぱり小さいので、目では見えません。分子がどんなかたちをしているかは、いろいろな実験や計算をして予想します。たとえば図6の上は、ペンタセンという分子の絵です。走査プローブ顕微鏡をつかえば、まるで目で直接みるように分子を観察することができます。図6の下は、ペンタセン分子を走査プローブ顕微鏡で観察したものです。イモムシのようなすがたがはっきり見えます！

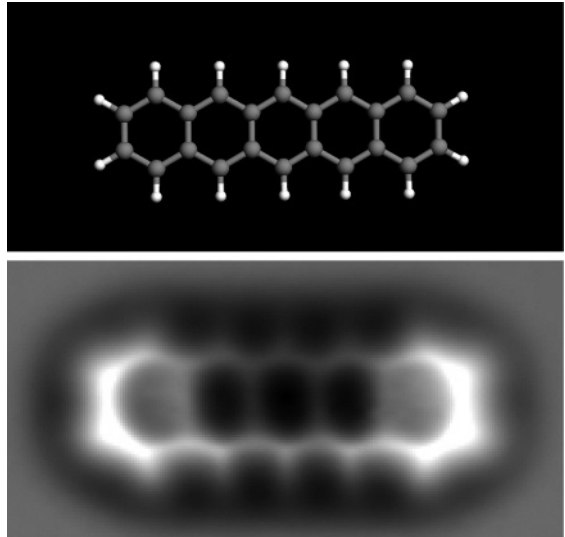


図6:(上)ペンタセン分子の骨格、(下)走査プローブ顕微鏡で観察したペンタセン分子



図7:一酸化炭素分子をならべてつくったアニメーションの一部([3]より)

図7は、YouTubeで公開されているアニメーションのコマを一部取り出したものです。小さなつぶで、人のような絵が描いてありますね。このつぶは、酸素原子と炭素原子がペアになった一酸化炭素という分子です。なんと分子をひとつずつ動かしてならべなおし、1コマずつ観察したものなのです！「A Boy And His Atom: The

World's Smallest Movie(少年と原子:世界一小さな動画)という題名で、少年と原子がなかよくあそぶようすをかいた作品です。わずか1分ほどのアニメーションですが、1日18時間を2週間つづけて(!)、200コマ以上を観察していったそうです。この作品は、「世界一小さなアニメーション」としてギネス世界記録に登録されました。

アニメーションをつくれるだけでは、もちろん、ありません。針で原子をならべれば、ほんのわずかなスペースに、文字を書きこむことができます。それはまた針で読むことができます。コンピュータの読めることばで書き、あとで読むことができれば、わずかなスペースに、ものすごい量のデータを残しておくことができます。この技術が完成すれば、未来のiPodの中には数本の映画どころか、今まで世界でつくられたすべての映画を保存できるようになってしまうそうです!

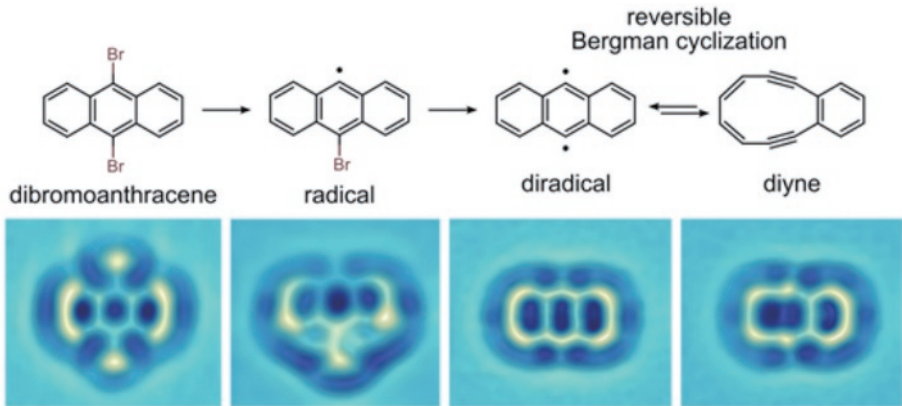


図8:針で分子を操作し、べつの分子につくりかえる([2]より)

走査プローブ顕微鏡は、あたらしい材料や薬をつくりだすための手段にもなるかもしれませんが、あたらしい材料や薬を開発するときは、みなさんが想像するように、試験管やフラスコに薬品を入れて、まぜたりあたためたりしながら、分子の化学反応をつかってつくります。最近の研究で、なんと分子をつくる原子を顕微鏡の針でうまく動かして、べつの分子につくりかえることにも成功しました(図8)。今のところできるのは、研究者が、何時間もかけて、たったひとつの分子をつくりかえることです。しかし、研究がすすめば、だれでもかんたんに、まるでおもちゃのブロックであそぶように、分子をデザインできるようになるかもしれません。そんな日がくるのが待ちどおしいですね。

## <参考文献>

[1] 日本電子株式会社 ホームページ (<https://www.jeol.co.jp/>)

[2] IBM ホームページ (<https://www.zurich.ibm.com/>)

[3] IBM:「A Boy And His Atom: The World's Smallest Movie」  
(右のQRコードはYouTubeのURL).



## <もっと知りたい方へ>

- ◆ 江沢洋:『だれが原子をみたか』(岩波書店、2013年)  
言わずと知れた名著です。「世界は原子でできている」ことが世の中に受け入れられるまでの歴史をドラマチックに描いた本。初版は1976年ですが、最近新版が出版され、走査プローブ顕微鏡の話題が追加されました。あつかう内容はなかなか高度ですが、とても親切でていねいに書かれており、中学生くらいから読めます。
- ◆ 日本表面科学会編:『すごいぞ！身のまわりの表面科学 ツルツル、ピカピカ、ザラザラの不思議』(講談社、2015年)  
物質の表面の性質を調べる「表面科学」という科学の分野があります。表面の原子や分子の様子を調べることができる走査プローブ顕微鏡は、表面科学の研究で大活躍です。身近なものから最先端の研究まで、いろいろな表面科学の話題を専門知識がなくても読める本です。
- ◆ 物質・材料研究機構:「原子のせかいであそぼう！」  
国立研究開発法人物質・材料研究機構が公開するページです。走査プローブ顕微鏡を用いた小学生対象のワークショップをまとめたもの。このほかにもいろいろな最先端の研究のコラムや動画を公開しており、楽しめます。(右のQRコードはページURL)

