



ポリマー1分子を見たら、
まるで生きているかのように動いていた。
生命とは一体何だろう？

“しなやかな”ポリマーが分子マシンになる!

合成高分子(ポリマー)を1分子で観測すると、まるで生きているかのように動いていることが篠原准教授の研究で明らかになった。この室温で動く“しなやかな”ポリマーの研究は、エネルギー・環境問題の解決につながる可能性を秘めている。

分子が見える顕微鏡がなければ自分の手で作るしかない!

我々が普段何気なく使っているラップや洋服の合成繊維はポリマーでできている。そのポリマーを1mmの100万分の1のナノの世界で見るとヒモ状の形をしているという。そのヒモにらせんを巻かせた高次構造を世界で初めて、直接画像としてとらえたのが篠原准教授だ。

「ポリマー、すなわち合成高分子は、非常に有用な物質であり、私たちは日常的にさまざまな場所で使っています。しかし、どのような機能を発揮しているかということは、分子レベルでほとんどわかっていませんでした」

それは、篠原准教授が東北大学でポリマーの合成を研究していたときのことだ。何年もかけて、ようやく世界でここにしかないπ共役系高分子を合成したものの、それがどんな構造をしているのか、その分子の姿や形を合成化学の分析手法では知るすべがなかった。そんなとき、生物物理学の世界で、自ら顕微鏡を作り上げてタンパク質1分子を見ている人がいることを知った。それが、その頃、東北大学にいた樋口秀男助教授(現東京大学教授)だった。

「それまでは顕微鏡などの装置は、買ってくるものだと考えていましたが、**自分の研究のために顕微鏡を作る人がいる**ということに大きな衝撃を受けました。もし、分子を見られるものがないならば、自分で作るしかない」と決意し、樋口先生に弟子入りしました」

篠原准教授は、化学の世界から、全くの異分野である生物物理学の世界に飛び込んだ。そして、半年の期間をかけて、自らポリマーの分子を見る装置を作り上げ、π共役系高分子鎖一本の蛍光発光の観測に成功し、発光色が変化することも発見した。

そして「このポリマーの発光色の変化は、分子の形が変わること、分子のエネルギー状態が変化して起こっているのではないか」という予測に至った。しかし、自ら作った顕微鏡では、実際の分子の形まで観測することはできなかった。そんなとき、応用物理学の世界に、分子1個を観測することができる**走査型トンネル顕微鏡(STM)**があることを知る。

合成高分子鎖一本の高次構造のイメージングに世界で初めて成功する

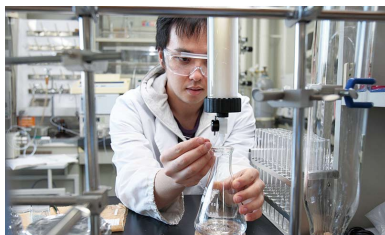
篠原准教授は、STMがあった筑波大学の重川秀実教授の研究室を訪れ、応用物理学という異分野の世界の扉を再び叩いた。

「最初は、ポリマーのサンプルを送ってくれればいいよ、と言われたのですが、どうしても自分でやりたかった。分子1個を見られるという顕微鏡をとにかく**自分の手で触ってみたい**かったです」

試料基板と探針との間に電圧をかけ、お互いの距離を1ナノメートル程度に近づけると、トンネル電流が流れ始める。この状態で探針を走査することで、試料表面の電子状態を可視化する。これがSTMのしくみだが、熟練した人でも、1枚の鮮明な画像をとれるまでに、膨大な時間を要するという。

篠原准教授は、STMの針を動かして基板の上のポリマーの分子をひたすら探していった。ポリマーの分子はやわらかく、たいていは針の先にひっかかってしまう。鮮明な画像を得るためには、基板表面にびったりとくっついて寝ている、観測に好条件の分子を探すしかない。

筑波大学の宿舎に1週間泊まりこんで、朝10時から夜中2時くらいまで研究室でSTMに没頭する、気の遠くなる作業が続いたが、結局きれいな像を得ることはできなかった。



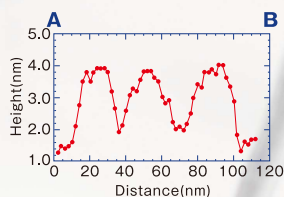
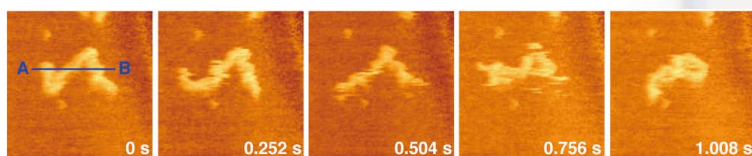
独自に設計したπ共役高分子を合成している。



高速原子間力顕微鏡(高速AFM)によってポリマーの動きの観測を行っている。



自作の全反射型近接場蛍光顕微鏡(TIRFM)でポリマー1分子の蛍光発光をイメージングしているところ。



らせんπ共役高分子鎖一本のしなやかな動態の観測画像と解析結果

「ここまでできなければ、普通はやり方を変えようと思うんですが、他にいくら考えてもいいアイデアが浮かばなかったんです。もう、やるしかないと思いました」

1ヵ月ほど経って、篠原准教授はあきらめきれず、筑波大学を再び訪れた。そして、STMと向かい合い、砂嵐のような画面が延々と続く、はてしない観測を続けた。

ある日の夜中、篠原准教授が操作していたSTMがひとつの画像を結んだ。そこには、2本のポリマーが右巻きにらせんで絡み合う像が映っていた。**世界で初めて、ポリマー1分子の高次構造を直視し、画像を得ることに成功**した瞬間だった。STMを観測していた時間はのべ200時間におよぶ。まさに、篠原准教授の執念の勝利だった。

その後、篠原准教授の研究成果の一部は、サイエンス誌に Editors' choiceとして掲載され、さまざまな学会で取り上げられることとなった。

タンパク質を超える機能を持つ 合成高分子創製への挑戦

ポリマー1分子の研究が進み、新たなことがわかり始めている。ポリマーの分子を観測してみると、短いポリマーが長いポリマーをレールのようにして移動しているという現象が明らかになったのだ。

人間の体のような生体を構成する分子においては、このような働きは普通の現象だ。たとえば、筋肉を動かすとき、それはレール状のタンパク質の上を移動する無数の分子の動きによって起こっている。しかし、タンパク質などの生体の分子は、取り出すと変性して死滅してしまうため、材料に利用することが難しい。その点、ポリマーは耐久性があるので、材料として利用する

ことが可能だ。

「現在の最先端の生物学では、生体高分子であるタンパク質の機能発現の機構や動作原理が明らかになりつつあります。この概念を合成高分子(ポリマー)の設計に適用すれば、刺激や負荷などの環境変化に柔軟に対応して特性を自在に制御できる生体高分子に匹敵した**“しなやかな”合成高分子**を創製できるのではないかと考えています」

1個の分子が力を発生させて、これが駆動源となって動いたり、ものを変形させたりすることができれば、微小空間で物質を輸送する分子モーターや、高感度で環境の変化を高速に検出して分子の形を自在に制御し情報表現する情報処理デバイスが誕生するかもしれない。

また、このような生命体の分子のような卓越した機能を持つ材料を作ることができたならば、全く新しい設計思想に基づく機械やコンピュータが生まれることもありうる。

しかも、光と熱をエネルギー源とする1分子デバイスやモーターは、無尽蔵のクリーンエネルギーである太陽光のエネルギーを利用できる。ポリマー1

分子の研究は、人類の存亡をかけた世界共通の危機「**エネルギー・環境問題**」の解決に大きく貢献する可能性も秘めている。



仕事だと考えたことは一度もありません。
とにかく、毎日研究を楽しんでいます。



マテリアルサイエンス研究科 准教授

篠原健一 Associate Professor Ken-ichi Shinohara

【趣味】

研究が人生そのものという毎日を送っています。

【今の仕事をする上で影響を受けた本】

直接の影響はわかりませんが、子供の頃母親に『野口英世』の伝記を読んでもらい涙したことを覚えています。

【どんな子供時代を過ごしたか】

とても好奇心旺盛な子供で、なんでも試してみたいという性格で、周りからみるといたずらっ子だったかもしれません。

【学生に対して】

研究テーマが与えられたときに、それを自分自身のものとして興味を持って臨める、そんな人がこの世界には向いていると思います。

【仕事観に影響を与えた出来事】

やはり樋口秀男先生との出会いが一番大きいと思います。顕微鏡などの実験装置を自分で作るという発想は、その頃は全くありませんでしたから。それと、STMの観測を、人まかせにせずに、自らやったことも大きいと思います。

学位

新潟大学 工学修士(1994) / 新潟大学 工学博士(1997)

経歴

日本学術振興会 特別研究員(1996-1997) / 東北大学 大学院工学研究科 助手(1997-2002) / 東北大学 学際科学研究センター 助手(兼務)(1998-2002) / 北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 助教授(2002-2007) / 東北大学 学際科学国際高等研究センター 客員助教授(併任)(2003-2004) / 北陸先端科学技術大学院大学 マテリアルサイエンス研究科 准教授(2007-現在)

エクセレントコア形成支援プロジェクト研究テーマ

π 共役高分子鎖一本の動態イメージングと分子マシン特性

合成高分子鎖一本の高次構造と物性およびその動態を分子イメージングにより解明し、分子マシンとしての機能を探索していく。

合成高分子鎖一本の
動態を観測して、
高分子の本質を解明する

生体高分子を超える
機能を持った合成高分子
の創製を目指す

合成高分子から
分子マシンの
開発につなげる

研究の成果

1個の分子が力を発生させて、それが駆動源となって動いたり、ものを変形させたりすることが可能になれば、分子モーターや情報処理デバイスなどへの応用の可能性がある。エクセレントコアの期間では、らせん高分子鎖に沿って分子1個が一方に輸送されるという分子モーター機能を発見した。そして、らせん高分子鎖一本の中で起こっている分子の動態を解析し、分子の輸送のしくみが少しずつわかってきた。分子にはらせんが密な部分と粗な部分が混在しており、それが粗密波のように一方に伝わることで分子を運んでいるのではないかという仮説を立てている。今後は、検証する段階に進む予定。

篠原研究室

マテリアルサイエンス研究科棟 3棟 3F

TEL 0761-51-1601

FAX 0761-51-1601

E-mail:shinoken@jaist.ac.jp <http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/shinohara/>



国立大学法人 北陸先端科学技術大学院大学

〒923-1292

石川県能美市旭台1丁目1番地

<http://www.jaist.ac.jp>

お問合せ

広報係

TEL 0761-51-1031

FAX 0761-51-1025

E-mail:kouhou@jaist.ac.jp