



分子スケールナノサイエンスで使う スイッチング分子

有機分子を使って、電気回路や論理回路に応用できるものをつくりたい。

松田建児さんはそう考えている。分子構造を分子レベルの電気・磁気特性に結びつける分子エレクトロニクスと分子スピントロニクスの領域である。

金微粒子と有機分子で電流を制御できる光スイッチングシステムをつくるなど、すでに成果は着々と積み上がっている。

コンピュータや光学技術の発達と相まって急速に発展する注目の先端的な研究分野といえる。

京都大学大学院
工学研究科合成・生物化学専攻 教授

松田建児

〔まつだ・けんじ〕1969年、奈良県出身。東京大学理学部化学科卒業。東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程中退。東京大学、九州大学の助手を経て、2004年、九州大学大学院工学研究院応用化学部門助教授。2008年から現職。その間の2001年には米イリノイ大学に留学。2003年には戦略的創造研究推進事業の「さきがけ」研究者にも選任されている。休日にはもっぱら家族と過ごす。

「第27回松籟科学技術振興財団研究助成 受賞」

自由に設計できるのが 有機分子の魅力

——まず、研究テーマについてお話し
いただけますか。

最近では太陽電池や発光素子などに使われる有機分子がたくさんあります。そうした機能性有機分子を使って電気回路をはじめとするさまざまなものに応用できる分子をつくり、

そのメカニズムを明らかにすることが主眼にしています。有機分子は設計してつくることができるのが魅力です。緑色に発光するとか固めると発光するとか、こういう働きをする分子が欲しいというとき、それを設計してつくることが可能です。その場合、無機物を使ったときよりもより優れた性能のものをつくらないと意味がありませんが、発光素子など

は無機物よりいいものがたくさんありますし、光を当てると形が変わるような設計は、有機物が得意とするところですよ。

——すでに実用化されているものはありますか。

一番よく使われているのは写真のフィルムでしょう。デジカメの時代になって影が薄くなりましたが、写真は、有機分子の設計をして機能を持たせるという原理で成り立っています。さまざまな色を自由につくれるようになったのも、色素を化学合成でつくれるようになったからです。

今こそ有機分子を設計する好機

——先生は、電気回路を有機分子でつくり出しているんですね。

電気回路に使えるようなものですね。僕は、そのメカニズムが面白いと思っています。昔は分子1個1個で回路をつくるなんて夢物語だったのですが、近年はプローブ顕微鏡とかナノ構造制御といった微細加工や微細制御の技術が発達し、分子レベルの非常に小さなものをつくり加工したりできるようになりました。そういう意味で、今こそ有機分子を使っていろいろなものをつくるのにいいタイミングなのではないかと思っています。実際、今は学生さんがつくった分子も顕微鏡などで簡単に見ることができます。

僕が学生の頃は、自分で分子を設計しても、本当に設計通りの形をしているのかどうか、半信半疑のところがありました。でも今はX線構造解析をすると、分子の形そのものを見ることができます。自分で考えた通りの形になっていることが確認できたときは、うれしいものです。自分でつくった分子は、我が子のよう

な感じですよ。

——こういうテーマで研究を始めたのはいつからですか。

2003年頃だったと思います。イリノイ大学への留学から帰ってきて、さきがけ研究に選ばれた頃から本腰を入れるようになりました。

——ということは、まだ10年ですか。

まだ10年というか、もう10年ですね(笑)。研究というのは息の長いものです。学生さんは2〜3年で卒業しますから、「あと10年くらいしたら答えが出るかもしれない」というと、途方もない長さだと感じるでしょうが、僕らはもっとずっと長いスケールで物事を考えます。それはある意味、とてもいいことだと思います。遠い将来にもしかしたら、ということそれぞれのアイデアで研究していくことが大事ですし、そういう研究は大学だからできるものですよ。どうなるかよく分からないテーマをつぶしてしまうのではなく、国全体として薄くてもいいからサポートしていれば、その中から面白い成果が出てくるかもしれません。おおらかに見てのサポートが必要ではないでしょうか。

フォトクロミック分子をスイッチング分子に

——今、先生が取り組んでいる研究が遠い将来、うまくいったとき、どういう成果物が得られるのでしょうか。

本当は論理回路とかそういうものをつくりたいと考えているのですが、それは僕が死ぬまでにはと思うくらい遠い先のことです。そのときの成果としてひとつ例を挙げると、脳があります。たとえば脳が信号を出して、筋肉が動いて、手が動く。その筋肉の動きひとつでも、人間はまだ

再現できません。電気信号を流すと、クネッと曲がるような分子システムもまだない。それがどういうメカニズムなのか、有機分子をどう並べたらそれができるようになるのか、ということを考えていきたい。もちろんそれは非常に難しいことですが、自分で論理的に考え、判断できるような分子システムがつくれたらいいでしょうね。

——人間の脳と同じようなコンピュータということですか。

今のコンピュータはパターン認識が苦手とか、いろいろ不得意なことがあります。そういうところをカバーできるようなコンピュータができるかもしれないでしょうね。

——では改めて、先生の研究について、お話しください。

いくつかありますが、ここでは2つの研究についてお話しします。ひとつは、光で色が変わるフォトクロミック分子を用いた研究です。色が変わるということは分子の構造が変わるということで、構造が変わるので色だけでなく性質も変わります。そうした変化をスイッチのように使えないかということに僕たちは注目しました。電気信号が流れるとき、情報が伝わる。その伝わり方を分子で制御しようというわけです。

——つまり、スイッチング分子ですね。

そうです。フォトクロミック分子は、見方を変えればスイッチング分子ともいえるんじゃないかと発想の転換をしたわけです。

——そういうスイッチング分子を設計していこうということですね。

どういう設計をしたらどういうスイッチができるか、ということを考え、実際につくってみてその性質を

調べています。この場合、心臓部とそれ以外のところがあり、心臓部に使えるものとしては既存のフォトリミック分子が10種類くらい、知られています。心臓部で新しいものをつくるのは非常に難しく、一方で心臓部以外のところをつくるのはそれほど難しくありません。しかもそこは無限の可能性があります。僕らの仕事は、この心臓部以外の部分を設計して、いろいろな機能を持たせることです。心臓部以外のところをどうつくるかによって、蛍光部分を持たせるとか、磁性や電気伝導性を持たせるといったことができるのです。

——その中のひとつが、金微粒子ネットワークを用いたコンダクタンス光スイッチングだそうですね。

そうです。金の微粒子とジアリールエテンジチオールでつくったネットワークを櫛形電極上に作成し、コンダクタンスの光応答性について検討してきました。金微粒子と有機分子はとても相性がいいのです。このネットワークは、電気を流すと、金微粒子と有機分子を交互に流れていくようになります。

二次元相分離を用いてドメインを分離

——もうひとつの研究とは？

有機分子の二次元配列をSTMを用いて測定することについて検討しています。これも、有機分子で電気回路をつくりたいというゴールは、金微粒子ネットワークの研究と同じです。ただ、今まではたくさんの分子に電気を流していましたが、この研究はひとつの分子に電気を流し、STMという方法でその流れ方が分かる原理を用いています。この原理自体は以前からあり、新しいものではありません。ただ、僕たちが取り組んだのは、異なる分子の電気の流れ方をどうやって見分けるかということです。テンプレートとなるポルフィリンの上にAという分子とBという分子をランダムに配列してしまうと、電気を流して測定しても、A、Bのどちらを測定しているのか分からなくなってしまうという問題がありました。

そこで僕たちは、異なる長さの側鎖を有するポルフィリンをテンプレートにし、二次元相分離を用いてドメインを分離する方法を考えました。これにより、A分子とB分子のSTM測定の高さを同時に別々に得ることができるようになったのです。これは何かが素晴らしく進んだというような研究成果ではありません。研究を一步進めたという程度の成果です。でも、こういう一步一步の積み重ねが大事なのだと思います。いろいろな分子の電気の流れ方を調べていくうえで、これは

重要な方法になるでしょう。

——その方法を思いついたのは、発想の転換からですか。

というよりも、組み合わせの発想ですね。2種類の似たような分子を同時に測定すると相分離が起きるという論文は、前からありました。それを自分たちの研究と組み合わせたのです。別のところでやられていた研究と、こっちでやっていた研究を上手に組み合わせることで進む。世の中の多くの研究は大体そういうもので、これはそうした研究の典型といえるでしょう。

でも、それはコロンブスの卵のようなところがあります。ある意味、当たり前のことなのに、誰もやっていなかったし、言われてみたら「あ、なるほど」と思うのだけど、誰も気づいていなかった。そういう研究が一番筋がいいのではないかと思います。

——気づいたのは先生ご自身だったのですか。

学生さんと話していたときに気がつきました。ひとりで考えていても、気がつかなかったかもしれません。学生さんが実験の結果を持ってきたりすると、2～3時間もディスカッションするのですが、そういうときに気づくことが多いですね。講演をしていて、質問を受けたときに「あ、この人、いいこと言っているな」と思い、気がついたこともありました。四六時中考えているので、ひょんなことがヒントになったりするのですね。

——この研究は、今どういう段階なのですか。

フォトリミック分子をSTMの上で反応させて見てみようとしています。それに向けていろいろ成果も出

てきています。フレキシビリティを与えようまくいくとか、アミド結合を入れるときれいに配列するとか、そういうことがどんどん分かってきているところです。そういう段階でも新しい発見はあるので、論文は発表します。そこは、最終的な成果が出るまで発表しない企業の研究と違うところです。

化学に携われる幸せ

——研究でご苦労されているのはどう
いうことですか。

苦労というより、嫌だなと感じるのは、論文をなかなか通してくれないときです。同じような成果を同時に発表したとき、海外の研究の方が大々的に報道され、結局向こうの成果になってしまうということもあります。そういうときは悔しいですね。そこは、研究者のコミュニティのあり方が違うところに一因があるのだと思います。欧米はそういうコミュニティが非常に密接で強く、それと比べると日本はちょっと弱い感じがします。

でも、化学に携われているのは幸せなことです。野球選手は体力の限界がきたら引退しないといけませんが、化学は頭が働いているうちは何とかやっています。学生さんとディスカッションしていてもまだ負け

ませんし、いいアイデアを出すのも僕の方が早い。負けていないうちはまだ大丈夫です（笑）。自分を脅かすような学生さんが出てきたらうれしいですね。

——これからの目標はいかがですか。

まずはこの研究室を世界的なものにすることが僕の使命です。研究室を持った以上は一番でないといけない。そのうえで、自分の考えた分子を自由につくって、性能も出せるようにしたいですね。松田の研究室に頼んだら、どんな分子でも設計してくれるといわれるようになったらすごいでしょうね。でも、それはなかなか…。

——世界的な研究室にするための課題
は？

いろいろありますが、今真剣に考えているのは、学生さんのモチベーションをいかに上げるかです。やる気があればいい成果が出て、いい成果が出ればますますやる気になるというプラスのスパイラルをつくっていくことが大事だ

と思います。そこをなんとかしないと、日本は立ち行かなくなってしまうと思います。でも今の学生さんは負けず嫌いなところが減っているように感じます。将来のことを尋ねても「無難に生活できれば」と言う学生さんが結構います。こういう分野の研究は、頭の回転や成績がちょっといいより、負けず嫌いで根気のある人が伸びるのですが…。

——先生ご自身は、いつ頃から化学に
興味を持つようになったのですか。

ウーン、自然とそうになっていたような気がします。小学生の頃科学雑誌の付録を見て自分で実験したりしていましたし、5年生の頃には電池を分解して二酸化マンガンを取り出し、オキシドールと混ぜて酸素をつくったりしていました。

——5年生のときにそんなことを…。

神童と呼ばれていませんでしたか（笑）。

そんなことないですよ。むしろ危ない子どもと思われていたんじゃないでしょうか（笑）。いろいろなことに興味があり、理論物理学をかったいと思った時期もありました。でも、やはり理論だけではなく、現実を扱う化学の方がいいと思うようになったんです。その選択は間違っていなかったと今でも思っています。

