



目標はポリマーと同等以上の伝導度を持つ透明なオリゴマー分子の開発

ポリマーでもモノマーでもなく、オリゴマーを使って高い透明度を維持しつつ、高い伝導度を発現する分子を創製する——。西長亨さんは、そういう目標を掲げている。それができれば、レアメタルフリーの透明電極が実現する可能性もある。「他の人とは違う発想の研究をしたい」と明言する西長さん。忍耐強く実験と思考を積み重ねていく地道な作業の道のりだが、どうやら研究の進捗には確かな手ごたえを感じているようである。

首都大学東京大学院
理工学研究科分子物質化学専攻 准教授

西長 亨

【にしが・とおる】1967年、大阪府出身。1995年、京都大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。日本学術振興会特別研究員、京都大学化学研究所助手などを経て、2005年4月より現職。その間2000年から約1年間、化学科客員研究員としてイリノイ大学に留学。高校まで続けた剣道は初段。専門書以外で最近読んで印象に残った本は「悩む力」（姜尚中著）という。

「第29回松籟科学技術振興財団研究助成 受賞」

π 共役系の化合物群に興味

——まず、今取り組んでおられる研究について、わかりやすくご説明いただけますか。

有機化学の中には、合成を開発する流れと、構造とか物性を追究する流れがあります。私の研究は構造と物性の相関を見るのが基本です。こういう化合物を作った時には、どう

いう性質が出てくるのだろうかとか調べたりする構造有機化学の分野ですね。その中でも私は、 π 共役系の化合物群に興味を持っています。二重結合と単結合が交互に連なることで、色が出るとか電気を流すというような物性が表れる化合物群です

——それは、もともと自然界にある化合物なのですか。

あります。たとえば眼の中で色を感じする部分には、二重結合と単結合が交互につながっている分子があります。ただ、私たちが作っているのは、天然にはないものです。ひとつのキーワードになるのが、導電性高分子です。私の研究は、決まった長さのモデル分子を精密に作り上げて、その性質を調べていくというスタイルです。たとえば同じ繰り返しのユニットが10個とか12個連なっているものをきっちり作り分けて、物性を測っていく。そうすることで全体の性質が見えてくるわけです。その時使うのはポリマーではなく、長さが規定されたオリゴマーを使っています。オリゴマーの性質を調べることによって、導電性高分子がなぜそういう性質になるのかというように追及するのがひとつの方法です。

条件が揃えばいくらでも長いものが作れる

—そういう研究をいつ頃からなさっているのですか。

10年くらい前に約1年間、イリノイ大学で研究する機会がありました。その時に所属した研究室で、オリゴマーの研究をしていたのです。もともと取り組んでいた研究分野に活用するため、私もオリゴマーの研究をするようになりました。

チオフェン環という5員環構造の化合物が、導電性高分子の中でも一番よく使われている、ユニットのひとつです。そのチオフェン環のポリマーのポリチオフェンは導電性高分子の中でも安定で、ある置換基を持っていると透明になるなどとても使い勝手のよいのが特徴です。最近、タッチパネルなどに使われている透明電極も、ポリチオフェンの仲間のひとつであるPEDOT（ポリエチレ

ンジオキシチオフェン）の利用が検討されています。

PEDOTの構成単位であるジオキシチオフェンのオリゴマーを研究しているグループはこれまでもいくつかありましたが、溶解度が悪いので長いものは作れませんでした。私が研究を始める前に文献で調べた時は、せいぜい5個くらいまでしかつなげられないという状況でした。ポリマーならできても、オリゴマーだと難しいという背景があったのです。

—それが、先生はできたのですか。

EDOT（エチレンジオキシチオフェン）の類縁体であるプロピレンジオキシチオフェンを用い、有機溶媒に対する溶解度を高めるために2個のヘキシル基を入れ、両端をメチルチオ基で保護することにより、酸化重合を防いだ一連のオリゴマーを新たに設計・合成しました。そうすると、いくらでも長いものが作れるようになったのです。

—長いオリゴマーを作れるようになったので、物性がきちんと測れるようになったということですか。

そうですね。それまでは、なぜ透明になるのか、そういう物性が発現する確かな証拠がないという状況でした。それが、精密に長いものを作れるようになったので、どれくらいの長さにした時に透明性が発現するのかということを調べられるようになりました。そのためには、電子を入れたり抜いたりするドーピングという作業が必要になります。そして、8ユニットのものをを使うと、溶液中ではドーピングしても透明度が高い可視領域に吸収がないようなものが作れることが判明したのです。

—現在はどういうことに取り組んでおられるのでしょうか。

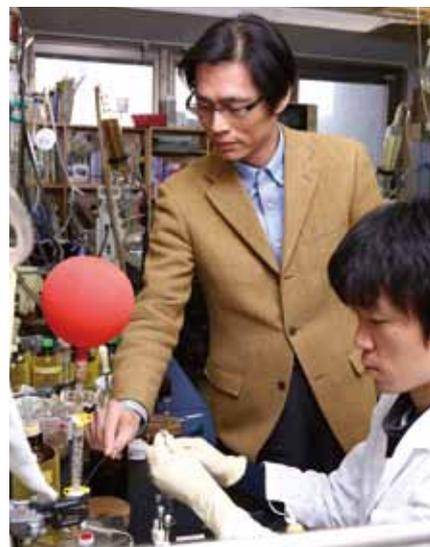
伝導度を稼ぐという意味では、溶かしている置換基が邪魔をしているような状態になってしまいます。そこで、もともと電気をよく通すEDOTのユニットを組み合わせることで、透明性という意味ではポリマー以上に性能を上げることが期待できるのではないかと考えています。

ポリマー以上の性能を目指す

—今までいろいろな人が研究してできなかったことが、先生にはできたのはなぜですか。

（少し間をおいて）どこまで追究するか、ということではないでしょうか。今回、使ったのは可溶性の置換基で、もともとのPEDOTのユニットとはちょっと違うものです。それが果たしてEDOTのモデルになり得るのかということは、やってみないと分からないところがありました。実験は学生さんにやってもらったわけですが、これはなかなか大変な作業でした。単純で、非常に忍耐力の要る作業です。そういうことがどこまでできるか、というのは大きなポイントだと思います。

もうひとつ、分離にはGPC（ゲル浸透クロマトグラフィー）カラムという装置を使うのですが、この装置



については多分、日本が先行しています。もともと分析に使うものだったのですが、分離にも使えるようにしたもので、日本だとこの分野の研究室にはほとんど入っています。でも、イリノイ大学の研究室にはありませんでした。この装置を長年、使っているかどうか大きな違いだと思いますよ。

—ということは、この分野の研究は日本が進んでいると。

そう言っているのではないのでしょうか。

—有機合成の研究者には、ポリマーに対して、モノマーやオリゴマーは劣るという先入観があると聞いたことがあります。

ポリマーにもオリゴマーにも、それぞれ長所短所があります。オリゴマーの場合、やはり耐久性などいろいろな問題が出てくると思います。ただ、基本的な考え方として、何かひとつでもオリゴマーを使ってポリマー以上の性能が出るようにしたい。それは決して不可能なことではないと思っています。

両極性有機半導体も研究

—オリゴマーで長いものが作れると、

先生は最初から確信されていたのですか。

溶媒に溶けさえすればできると思っていました。

—実験をしていた学生さんから、できたと聞いた時は

どんなお気持ちでしたか。

まあ、できると思っていましたから(笑)。ただ、忍耐強くよくやってくれたとは思います。

—今はどういう段階なのですか。

可溶性の置換基がついたものを12個まで並べられることが分かり、ドーピングさせたものをいろいろ比較すると、8量体くらいがよさそうだという感触を得ました。だからまずは8量体で伝導性が発現するようなユニットを組み合わせている段階です。まだ最終的なところまではいっていませんが、ひとつ手前の段階くらいまではいっています。

—高い伝導性と透明度を両立させた分子を創製できると、最終的には何ができるのですか。

そこまではっきりしたビジョンがあればいいのですが…。とりあえず

はPEDOTの方でタッチパネルなどに置き換えようという動きがひとつあります。今のタッチパネルの透明電極は、主にITO(酸化インジウム)が使われています。しかしインジウムはレアメタルなので、それにとって代わる代替材料が探索されていて、PEDOTもそのひとつの候補になっています。PEDOTにはいろいろな類縁体がありますが、私はその中のオリゴマー版で特に透明度を追究していくつもりです。

—伝導性と透明度を両立させた分子という当面の目標に到達できるのは、いつ頃になりそうですか。

それはちょっと…(苦笑)。今実験をしている分子が的中すれば、そういうものが作れたといえるかもしれませんが、作ってみて外れていたらまたちょっと作る分子を換えないといけないかもしれません。

—今までお話を伺ったテーマ以外の研究もされているのですか。

有機半導体の材料の中で、トランジスタになるような材料の開発もしています。最初はオリゴチオフェンに他のユニットを混ぜてみたりして、論文も書きましたが、どうもそれでは面白くない。他の人がしていないような発想で、p型にもn型にもなるような両極性の半導体有機分子で作れないかと考え、チオフェン環を使って試みています。反芳香族性

を利用した狭いHOMOとLUMOのギャップを持つような分子を作っています。一番基本になる小さな分子を作り、単結晶でp型にもn型にも動くようなものが作れました。もう間もなくその論文を投稿します。

オリジナリティで勝負したい

——他の人と違う発想にこだわるのは、化学者はオリジナリティが大事だと考えているからですか。それとも他の人と同じことをしても面白くないからですか。

その両方ですね。他の人と同じことをしてもブレイクスルーにはつながりにくいでしょうし、やはりオリジナリティで勝負したいですからね。もちろん自分がブレイクスルーできるとは限りませんが、その可能性は追求したいですよ。

——実験には忍耐力が必要だとおっしゃいましたが、先生ご自身にとっては何が重要だと思いますか。

考えるという作業にも忍耐力は必要です。考え続けていないと、アイデアは出てきませんから。

——24時間、研究のことを考えていると？

そこまで言うと大げさになりますが、寝ている時にアイデアを思いついたりすることはありますね。

——こういう研究をされていて、面白さを感じるのはどういう時ですか。

学生が持ってきた実験の結果が、自分の想像以上のものだったりすると、うれしいですね。それからレベルの高い雑誌などに自分の論文が受理された時も喜びを感じます。最近だと、有機化学の分野で最高峰のひとつと目されるアメリカ化学会の「Journal of American Chemical

Society」に私の論文が受理されました。

物心ついた頃から化学に興味

——化学に興味を持つようになったのは、いつ頃からですか。

物心ついた頃から、と言うとまたちょっと大げさかもしれませんが、父がやはり大学で有機化学を研究していたので、家の中にそういう本がたくさんありました。もちろん子どもの頃にきちんと読んだわけではありませんが、なんとなく見ていたから馴染みはありました。だから六角形がいくつもつながった構造を見るというようなことに、抵抗は全然ありませんでしたね。小学生の時に父の研究室に行ったこともあり、中学生の頃には漠然とですが、自分もあいう世界に進むのだからと思うようになっていました。

——こういう研究は、年を重ねるほどいいのでしょうか、それとも頭の柔らかさという面で若さが必要なので

しょうか。

自分の研究スタイルとしては、蓄積を大事にししながら、他の分野との融合ができないか探りながらやっているところがありますね。今のようなことを若い時にできたかというところ、どうでしょうか。大部分は経験とか知識だと思います。

——そういう意味ではイリノイ大学での経験も大きかったのではないですか。

確かにそうですね。オリゴマーの分子の扱い方とか、合成の仕方とか、あの時の経験が今につながっている部分はかなりあると思います。ただ、日本と欧米とではスタイルが違います。アメリカは設備などを共同で使うことが多いのですが、それぞれの設備に人が配置されていたりします。薬品などの購入も、学科の中に一括で管理するスタッフがいたりします。また欧米は、博士課程まで進むのが基本ですが、日本はマスターまでが基本ですよ。どちらがよいとは一概に言えませんが、そういう違いを経験したことも意味のあることだと思っています。

