

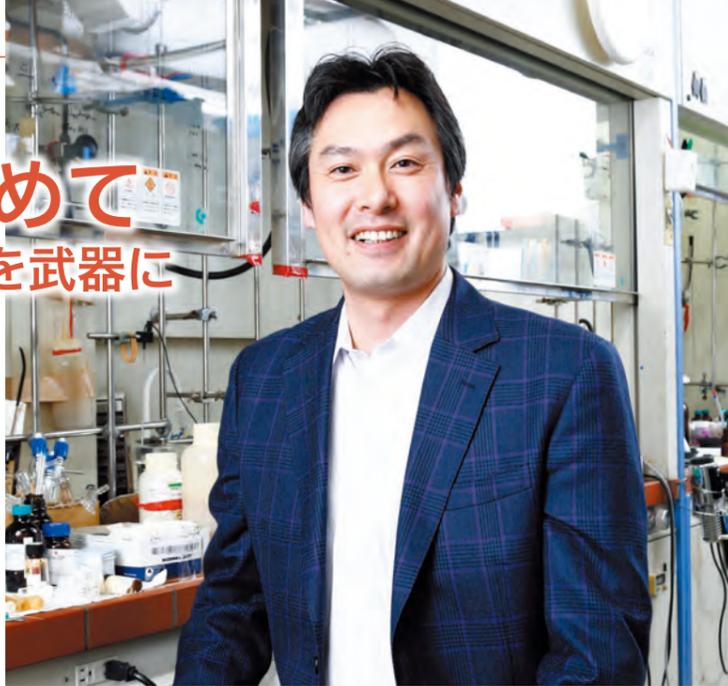
# 斬新な化学反応を求めて ひらめきと多様性とチーム力を武器に

京都大学の依光英樹教授の専門は「有機化学」と非常に幅広い。世界に衝撃を与える斬新な化学反応を追求し、有機化学の常識を覆し続ける異端児である。

よしみつ ひでき  
**依光 英樹**

京都大学  
大学院理学研究科化学専攻 教授

2002年 京都大学大学院工学研究科博士課程修了。東京大学大学院理学系研究科博士研究員、京都大学大学院工学研究科准教授などを経て、15年から現職。



## 芳香環200年の常識に挑む

有機化学の根幹となる化学反応を幅広く研究する依光さん。その原動力は純粋な好奇心とひらめきである。常識に挑戦するその大胆な研究成果には、国内外の研究者から大きな反響がある。

その1つが「芳香環メタモルフォシス(変換)」(図1)だ。6個の炭素が環になったベンゼン環は「亀の甲」として知られる代表的な芳香環だ。4個の炭素と1個の窒素(N)、酸素(O)、硫黄(S)のいずれかが環になった5角形構造も芳香環の仲間である。芳香環を持つ分子は芳香族化合物と呼ばれる。

芳香環は剛直かつ丈夫で、芳香族化合物の機能と構造を担保する「背骨」だ。芳香族化合物から物質変換をする際は、芳香環を壊さず、外側に付いた枝葉部分だけを交換するのが、ベンゼン環の発見以来200年の常識である。

「機能の宝庫であり、普通は壊そうとは思

わない芳香環そのものを作り変える、いわば『背骨の整形手術』ができれば面白いなと思ったのです。芳香環を構成する元素を取り換えれば、まったく異なる機能が発現するはずですから。

有機化学の常識を覆す発想だったが、依光さんは芳香環の作り変えに成功する。世界的な反響が特に大きかったのが、ベンゾフランの「整形手術」だ(図2)。ベンゾフランは六角形のベンゼン環と五角形のフラン環が連なった非常に安定な物質だが、依光さんらはニッケルを触媒にして、フラン環の酸素(O)の隣にホウ素(B)を割り込ませ、1段階で六角形にするという妙技を確立した。得られたホウ素と酸素を含んだ環骨格は、新たな有機エレクトロニクス材料や生物活性物質の重要骨格として期待が高まる。この成果を米国化学会誌に発表すると、たちまち月間の「最も読まれている論文」の第1位となり、芳香環メタモルフォシスに一気に注目が集まった。

「芳香環は身の回りのあらゆるものに含ま

れます。もしも触媒などで芳香環を簡単に作り変えられるようになったら、化合物の合成戦略が大きく変わり、世界が変わります」と、依光さんは目を輝かせる。

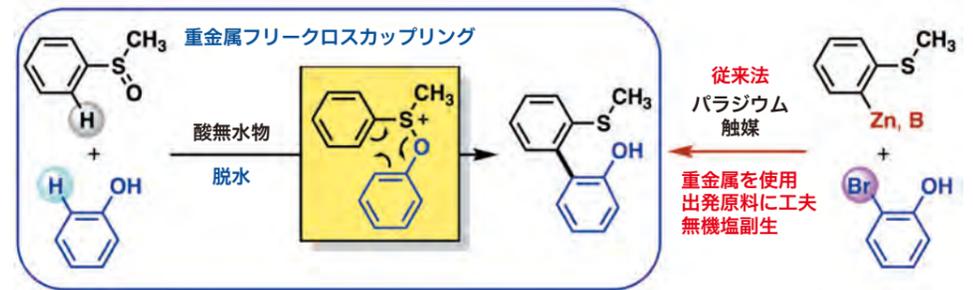
## 100年以上前の化学反応からヒントを得て

クロスカップリング反応は重金属触媒を使う方法が盛んに研究されてきたが(p.5参照)、依光さんは重金属触媒を一切使わないクロスカップリング反応を確立した(図3)。そのヒントになったのは、1909年にドイツの化学者ブメラーによって報告された硫黄化合物の反応である。

「ある特殊な硫黄化合物で何気なくブメラーの反応を試してみたら、まったく予想外のことが起こったのです。おかしいなと思って、分子の気持ちになってみたら、曲芸のような分子の動きが見えて。自然科学の奥深さを感じました」。その後、10年をかけて、この発見をクロスカップリング反応に展開した。「流行や既存の価値観にこだわらず、私自身が面白いと思えば、どん

## 図3 重金属フリークロスカップリング反応

硫黄原子を目印にして芳香環同士をクロスカップリングさせる。酸無水物による脱水に基づく、従来法とは一線を画すカップリング。重金属触媒を使うと、結合する場所を金属やハロゲンであらかじめ細工しておく必要もあり手間がかかる。



な反応でも研究します」と話す依光さん。悪臭のためあまり人気がない硫黄化合物やブメラー反応のような大昔の反応には、見逃された宝物が潜んでいると感じるからだ。

## インスピレーションをかきたてる化学反応を

ACT-Cについては、次のように語った。「ものづくりの根幹を担う有機化学反応に焦点を絞った事業は重要なはずなのに希少です。この分野は日本の研究者の層が分厚く、世界トップレベルの有機化学者が老いも若きも集まったACT-Cで切磋琢磨できたのは大きかったです。アドバイザーの玉尾皓平先生は、この分野を生み出し牽引してきた先駆者で、非常に的確な助言と温かいお言葉をくださいました。もともと自分の師匠と並び最も尊敬する化学者のお一人でしたが、その思いを新たにしました。

依光さんはACT-Cで、天然色素のポルフィリンを元に、その機能を上回る新分子の合成を試みてきた。パイ電子系分子(p.7参照)の1種であるポルフィリンは座布団のような平らな骨格を持つ一連の化合物群である。光合成で働く葉緑素もポルフィ

リンの一種であり、光を集める機能を持つ。パイ電子系分子は平らであるほど電子の授受や光の吸収の効率が高まる。また、平面の中に埋め込まれた炭素以外の元素が物性に大きな影響を及ぼす。依光さんはこの座布団の周辺部に窒素を埋め込みながら平面を広げる手法を開発した(図4)。窒素は炭素より電子を1個多く持つので、その授受によって面白い応用を期待できると考えている。

「応用も大事ですが、私の場合は、自分が大好きな化学反応の基礎研究で際立った成果を出していくことが最大の社会貢献だと考えています。学生や研究者にインスピレーションを与えるような斬新な反応をどんどん開発していきたいですね。

## 多様な個性を受け入れてくれるのが有機化学の魅力

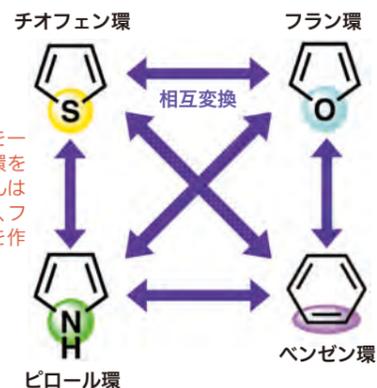
常に化学のことを考えているが、理路整然と考えるのは3割ぐらいで、残りの7割はひらめきという依光さん。「学生と話をしていて、頭が整理されてつながることも多いです。メンバーと気軽に議論できる環境は大事にしています。

生涯一化学者と自称し、学生と同じ目線でいてくれた恩師の大島幸一郎京大

学環境安全保健機構長に就いて、教授になった今も実験室内に自分の机を置く。外国から親しい研究者が来れば、学生に拙い英語でも構わず1対1で議論をさせる。コミュニケーション力を培ってもらうとともに、一化学者としての自覚を持ってもらうためだ。芳香環メタモルフォシス、ブメラー化学、ポルフィリンなど、学生1人1人にばらばらのテーマを設定するのも、各自の研究に責任を持ってもらい、なおかつ研究室内で異分野融合を実現するためだ。「何をしたいかわからないと言われることもあります。信念を持ってやっています」。指示待ちの学生は要らないと断言しているせいか、研究室には譜面通りに弾かない演奏家のような個性的な学生が集まる。そんな学生たちをまとめ上げ、独創性と協調性を兼ね備えた人を育てることが教員としての使命だと考えている。

「有機化学には多様な可能性が広がります。どんな人にも個性に応じた化学反応が見つかります。その後皆でわいわい議論することで、大きな成果につながります。皆にチャンスがあり、楽しめる学問なのです」と有機化学の魅力を語る依光さん。学生たちが世界で活躍してくれることを期待し、研究に、教育に、全力投球を続けている。

## 図1 芳香環メタモルフォシス



「頑丈で壊れないとされてきた芳香環を一時的に破壊し再構築することで、芳香環を別の芳香環に変換する」新手法。依光さんはすでに、チオフェン環からピロール環を、フラン環やチオフェン環からベンゼン環を作る手法を確立している。

## 図2 ベンゾフランの触媒による変換



## 図4 窒素埋め込み型ポルフィリンの合成

新たに開発した電子触媒による効率的窒素原子埋め込み法

