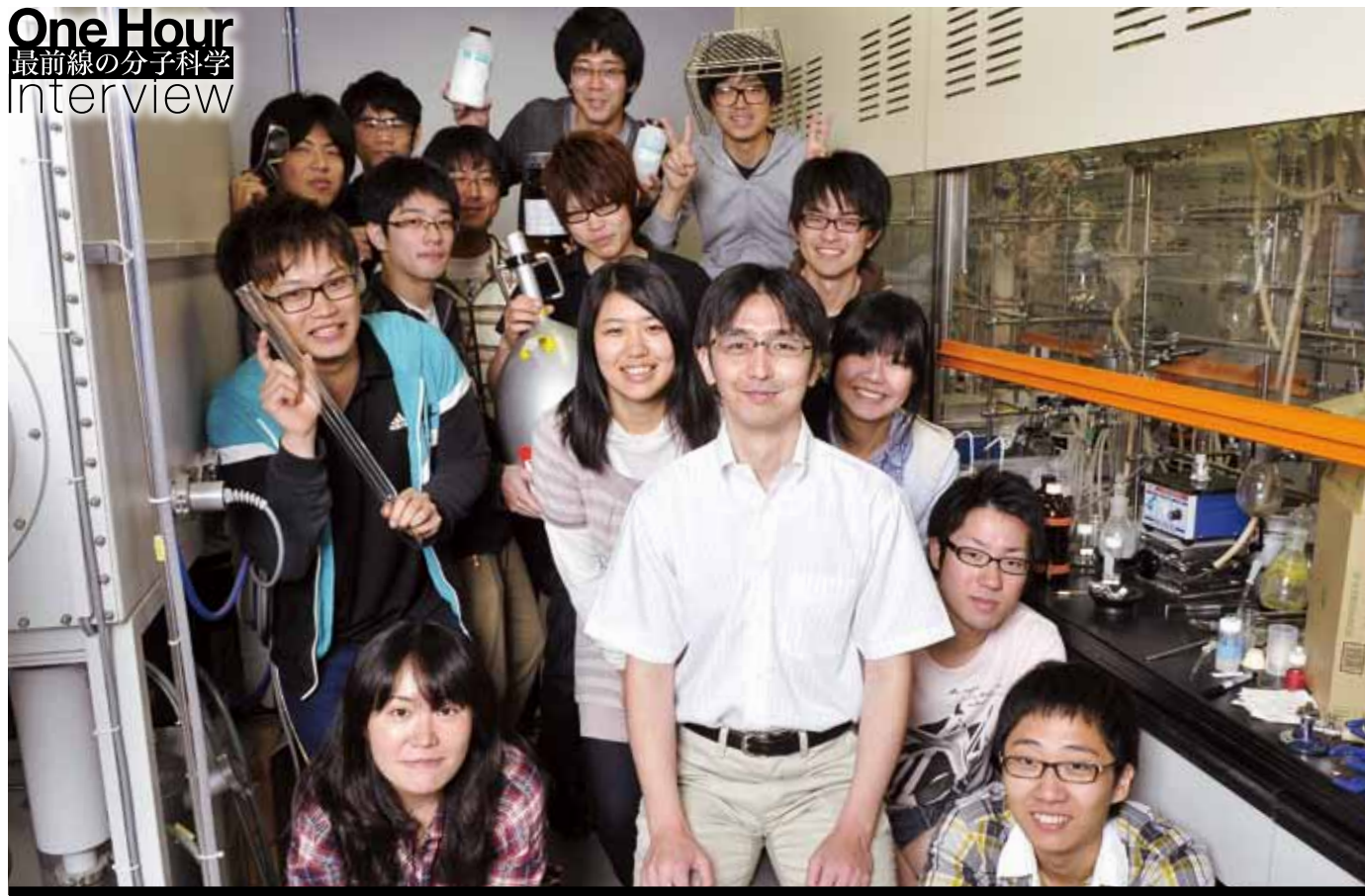




つねに新しい方法論を追求、 結合の切断・形成をコントロールし 世の中に役立つ材料を提供

大阪大学の鷹巣守准教授は、不活性結合の切断と形成という領域で、世界の研究をリードする数多くの成果をあげている。次世代ディスプレイに有効な有機発光材料の開発を手掛ける一方、太陽光や可視光を用いた有機合成へと夢を広げる。「新しい」を切り口に、唯一無二の方法論を開発し、世の中に役立つ材料を提供する。若き研究者の活動は、つねに挑戦的だ。

大阪大学大学院

工学研究科

原子分子イオン制御理工学センター 准教授

鷹巣 守

【とびす・まもる】1973年、大阪府生まれ。大阪大学工学部応用精密化学科卒。同大学院工学研究科博士前期および後期課程修了。その間、米国マサチューセッツ工科大学化学科留学。武田薬品工業(株)にて4年間研究員として勤めた後、2005年、大阪大学大学院工学研究科助手に着任。同特任講師を経て、2011年より現職。2010年、日本化学会進歩賞、2012年科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。

「第29回松籟科学技術振興財団研究助成 受賞」

とにかく実験主導

——鷹巣先生は学位修得後、民間企業の研究所を経験されています。

自分の研究が、目に見える形で社会に役立っていることが実感できるということで、製薬会社の研究所に入りました。薬は大半が有機化合物であり、その分子設計により生体との相互作用を制御して薬効を発現させるというのは、自分にとって新しい経験で、興味深い研究ができま

した。実際、その成果は社会の役に立つわけですし、やり甲斐もありました。今の私の研究は、ものを作るための方法論を見つけることですが、それがたとえば新たな創薬につながるというところまで発想がおよぶようになったのは、企業での経験に負う部分も大きいと思います。

——2005年に工学研究科に戻られました。

企業の研究所の場合、研究成果を

公表できるのは、特許などの手続きを固めたのちで、場合によっては10年、20年先です。研究者としては、自身の成果をいち早く発表し、論文を書き、世界中の研究者に見てもらいたいという思いがあります。それが大学での研究の魅力でもあります。工学研究科に戻ってからは、研究のテーマも自分で決められますから、半年ほどの間に、20から30のテーマに挑戦しました。小さな、何気ないアイデアでも、とにかく実験主導で、まず反応にかけてみる。恩師の村井眞二先生（現・奈良先端科学技術大学院大学理事・副学長）もそのような手法でしたし、村井先生にみっちり仕込まれましたから。その中でひとつだけうまくいった実験が、炭素－炭素の結合を切断する反応でした。

ダイヤの原石を手に入れる

——触媒を用いた不活性炭素－水素結合の切断反応は村井先生の研究成果のひとつです。

残念ながら私自身は、学生時代に村井先生の炭素－水素結合切断の研究には関わっていなかったのですが、一般に炭素－水素結合に比べ、炭素－炭素結合ははるかに切断しにくいものです。ブタンのようにシンプルな炭素－炭素結合はまず切れることはありません。全く前例のない反応であり、大げさですがダイヤの原石を手に入れた思いでした。

——ニトリルの炭素－炭素結合からスタートされ、それ以外に広げていかれた。

有機化学と有機金属化学の境界領域になるのですが、有機金属錯体を使えば切断できるということは、ぼつぼつと報告されていました。しかし有機化合物1分子を切断するには、パラジウムなど高価な有機金属錯体

1分子が必要で、これでは有機合成の反応としては使えません。有機金属の研究者なら、錯体の上で切れたことで満足するかもしれません。しかし、有機化学の立場からは、これではだめです。有機金属を触媒として使い、切れた錯体を再び触媒に戻して、触媒サイクルを回してやることでできれば、有機化合物を作る手法として使える。ただ、工夫は必要になるわけです。今、注目されているのは炭素－酸素結合の切断です。私は、2008年に論文にまとめましたが、それ以降は追従研究というか、この分野に参入する研究者が世界中に増え、競争の厳しい分野になっています。

有機発光材料の合成法を開発

——有機発光体の研究もされています。

初めから有機発光体を狙っていたわけではありません。炭素－炭素結合の研究をしているとき、手伝ってくれていた学生が想定もしていなかったシロール^{※1}という化合物が副生成物としてできたことを見つけてくれました。なぜできたのかは、わか

りませんでした。原料と生成物の構造を見比べると、明らかに切れるはずのない結合が切れている。ケイ素に結合した3つのメチル基のひとつが切れていました。炭素－ケイ素結合の切断です。そこで、ケイ素上のメチル基を切る反応を開発しようということになったのです。

——本当に偶然ということですか。

そうです。ただ、シロールができたということにも興味を持ちました。シロールが発光性の材料として有望ということは知られていました。しかし、従来法の多くは分子内反応で原料合成が複雑でしたし、発光体としてチューニングするための官能基を導入するのも難しく、作れるものが限定されてしまいます。一方、我々の方法論は触媒的で、激しい条件を必要としないマイルドなものですし、2分子のカップリング反応です。なので、合成反応としての自由度が高く、いろんな分子を作る発展性があります。

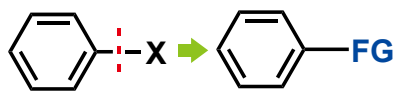
——どのようなアプローチをとられたのですか。

一番面白い展開として、光学活性

※1 シロール (Silole) …5員環共役ジエン骨格にケイ素を組み込んだ構造であり、特徴として高い電子受容性などの特異な電子構造を持ち、有機EL素子において高い電子輸送性を発揮する材料として有望視されている。



従来法：反応性官能基の変換

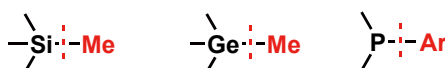
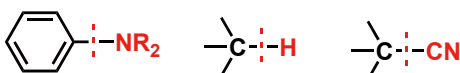
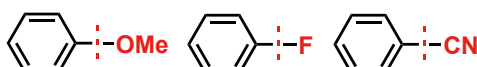


X = ハロゲン FG = 官能基



炭素-ハロゲン結合や不飽和結合などを含む反応性に富む基質の変換に限定される

これまでに達成した
不活性結合活性化反応



従来、利用されなかった
安定な化学結合の直截変換

合成方法論の原理的な多様化

反応が進む配位子は10個以内しかなく、キラルな化合物の光学純度を表すee（鏡像体過剰率^{※2}）が50%になるものは3つ以内です。現在は実用上十分な98%eeまで高まりましたが、一時は手伝ってくれた学生もそうとう落ち込んでいました。ピンポイントの構造を持った配位子を見つけるのには本当に苦労しました。

——研究の進捗状況は。

98%eeまで来たといっても、

なシロールを作れないかと考えました。シロールは発光体として有望ですが、キラリティーはありません。キラリティーのある発光体として報告されていたのは、希土類のキラルな錯体やポリマーを使ったものだけです。それぞれ、経済性や構造制御といった点に問題があります。4つの異なる置換基を持つケイ素中心のシロールを合成できれば、キラリティーのあるシロールができます。低分子の有機化合物であり、分子設計により発光波長なども制御しやすい。しかも、キラルですから円偏光発光し、発光効率が高く、電力消費も抑えられる可能性がある。我々の方法論が、次世代の省エネルギー型ディスプレイ材料の開発に役立つということです。

く、その結果を分析することも困難。非常に挑戦的な課題でした。見分けるには光学活性な配位子を添加し、触媒をキラルにする必要がありますが、配位子を入れると、触媒の活性を損ない、反応自体が進みません。通常の不斉合成は、配位子を入れることで反応を加速し、エナンチオ選択性を出しますが、全く逆。加速するというか、反応を阻害しないで2つのメチル基を見分けてくれる配位子と反応条件の組み合わせを見つけるのに2年かかりました。

——ここが一番難しかった。

100以上の配位子を試しましたが、

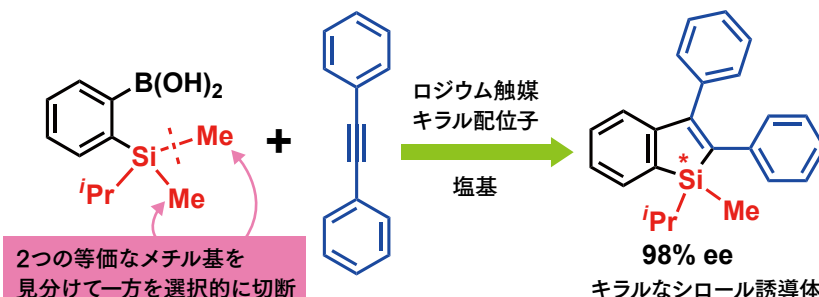
今使っている配位子でうまく反応する基質の種類は限られています。発光体としての優れた特性を引き出すには、こういう原料を使いたいと思っても、それに効く触媒がなかったりします。汎用性の高い手法を確立するのは容易ではありません。場合によっては、別のアプローチ、たとえば別の新しいシロール合成法を開発し、それを不斉化するという発想の切り替えも必要かもしれません。新しい有機合成の反応を開発したことは間違いありませんが、それを有効利用するアプリケーションまで持っていくことが重要です。正攻法が

98%eeのキラルなシロールを合成

——シロールの有機合成法は、薦巢先生が開発されましたが、次のステップに進むのは簡単ではなかった。

偏光特性制御部位にあたる2つのメチル基をエナンチオ選択的に切断しなければなりません。ただ、等価な不活性結合を見分けて、一方を選択的に切断するというのは、例がな

炭素-ケイ素結合切断を経るキラルシロールの触媒的不斉合成



※2 鏡像体過剰率 (enantiomeric excess) …2つの分子が左手と右手のように互いに鏡像である1対の立体異性体 (エナンチオマー) はキラル化合物と呼ばれ、それぞれ異なる旋光性/光学活性 (直線偏光を回転させる現象) を有している。鏡像体過剰率とはこのキラル化合物の純度を表す言葉であり ee と略される。光学活性を示さないラセミ体は、2種のエナンチオマーが1:1の混合物であるから、eeは0%となり、数値が大きくなるにつれて生成物の光学活性が高い事を示す。

かなか予想しづらいです。

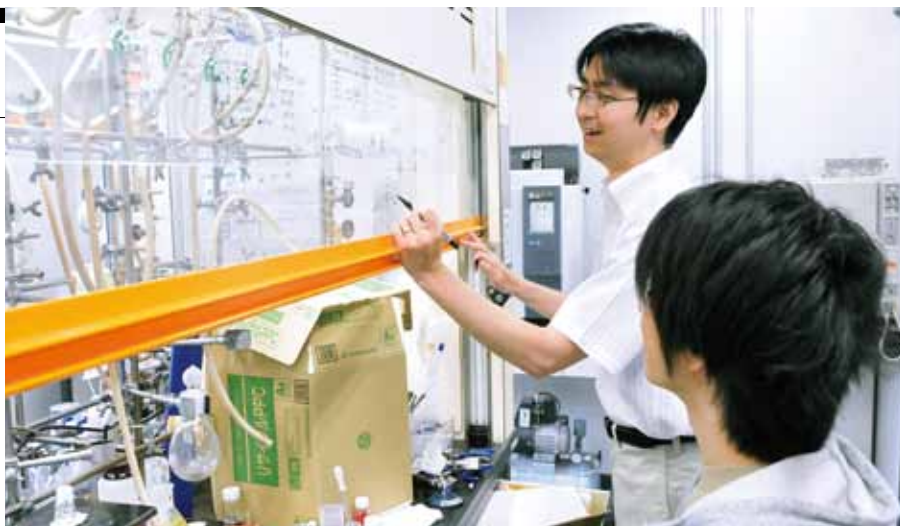
太陽光・可視光による 有機合成に挑戦

——まだお若いですが、研究者として、
これからの方向性は。

難しいですね。これまで、一貫して方法論の開発というか、有機化学で「新しい」という点に焦点を当て、反応開発をやってきました。これは変わりません。これからいろんな分野にチャレンジしたいと思います。今、特に興味があるのは光を使った合成で、少し手を着け始めています。光を使った合成というと、従来は、エネルギーの大きい紫外光を使うため、専用の装置が必要で、合成化学者が気軽にできる手法ではありませんでした。そうではなく、もっと使いやすい可視光や太陽光といったもので、有機化学者が利用しやすい反応を開発してみたいと思います。現行では、もの凄いエネルギーや時間を使っているものを、太陽光にさすだけでできるようになる。クリーン、環境調和型の方法論に置き換え、応用する。そんな、夢のようなことを考えていきたいです。

——鳶巣先生は以前、ある目的のために必要な有機化合物をデザインし、実際にその分子をつくりあげることができるのが有機合成化学者の特権だ、とおっしゃっています。今、実践されているわけですが、そもそも化学に興味を持たれたきっかけは何でしょう。

小学校5年生の担任の先生が放課後、小学校では習わないような実験をしてみせてくれたり、化学式を教えてくれたりしたのがきっかけです。その後、塾の先生のアルバイトをされていた阪大生、結果的に私の専攻の先輩にあたる方になるのですが、その方がタンパク質の構造の研究を



されておられて、複雑な分子構造の絵を見せ、お話を聞かせていただきました。化学の教科書に載っているものは紙に印刷された平面的なものでしたが、実際の分子は、もっと立体的でダイナミックです。そんな分子構造を見て、「きれいだ」と感じましたし、圧倒された思いもしました。

——有機化学を選んだのは。

いろんな分野がありますが、化学は論理的でない部分も結構あります。ただ、その中で有機化学は一貫性があるというか、論理的に説明できるように感じました。そこに興味を持ったのでしょう。皮肉なことに、今はその論理性にのっとらない、例外的な現象を見つけることに一番の楽しみを感じているんですが。研究以外では、推理小説やミステリーが好きで、かなり読んでいるのですが、論理的な中に最後にどんでん返しというか、驚きがあります。これは研究も同じで、プレゼンテーションにしても、反応にしても、人に驚きを与えることは重要だと思います。

感覚・感触・感性が重要

——3人のお子様がいっぱいます。

研究中心の生活になっていますが、やはり子どもと一緒に遊んでいると癒されますね。年齢がばらばらなので、娘とはお絵かき、息子とはサッカー、一番下の子どもは、まだ1歳

半なのでにらめっこ、とできる限り接するように心掛けています。ただ、学生と接するときにも感じますが、過保護と放任のバランスが非常に難しい。いつも手探りです。

——教育者としてのスタンスは。

化学という学問自体、未熟な部分があります。ですから、学生の主張や指摘が間違いだとは、誰にも言えません。私も否定しないようにしています。シロールを合成したときも、もし、私がこういう反応をすれば、こういうものが生成するはず、と指示していたとします。そうすると、期待以外のものができた場合、学生は興味を持たず、見落としてしまったかもしれません。期待したものでなくても、もっと面白い結果が出れば、そちらの方がいいのです。有機化学の実験は、感覚や感触、感性といったものが重要で、実際に手を動かして考えている人にこそ、強みがあります。うまくいかなければ、次にはその人なりの工夫が必要で、そのヒントは文献から得られることもあります。それを大事にして欲しいと考えています。村井先生も、茶谷直人先生（大阪大学教授）も、私が工夫をしていれば、「それは、止めておきなさい」とはおっしゃいませんでした。物怖じせず自分のアイデアを提案できる、そのサポートをしていければと、心掛けています。