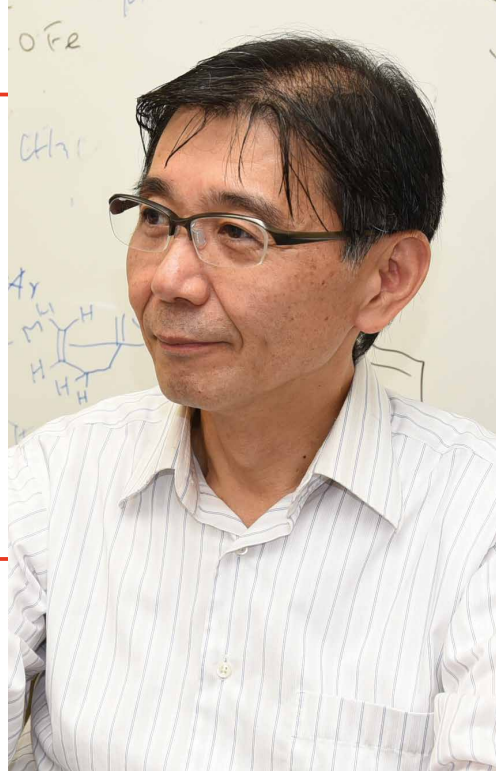


石井 洋一 教授

【プロフィール】石井 洋一（いしい よういち）▷1981年、東京大学工学部合成化学科卒業、1986年、同大学大学院工学系研究科合成化学専門課程博士課程修了。1987年、東京大学工学部助手、1995年、同大学大学院工学系研究科助手、1996年、同大学大学院工学系研究科専任講師、1998年、同大学大学院工学系研究科助教授を経て、2002年、中央大学理工学部教授。2009年11月より2013年10月まで同大学理工学部長を務める。



有機化学と無機化学の間に存在感を発揮する 有機金属化学の研究には、世界で初めての 発見ができるチャンスが待っている。

石井先生の専門領域である、金属と炭素の結合を含む化合物を対象にした「有機金属化学」の研究は、有機化学と無機化学の間に位置する学問です。戦後に生まれた新しい分野ですが、銅や鉄、チタンなど、おなじみの金属が並ぶ「遷移金属」が炭素と結合することが分かり、しかもそれが、さまざまなモノづくりに役立つことが分かって以来、大きく注目を浴び続けています。化学分野の研究における発見の可能性と意外性を語る石井先生ですが、この遷移金属を用いることで元素の結合・切断など自由度、面白さは大きく広がりました。学生の誰もが新たな化合物の研究に取り組む、未知との出会いが用意された石井研究室で、新発見のチャンスをつかみませんか。

遷移金属で研究の 自由度が広がる

金属といえば無機物の代表では、と思った人いるのではないのでしょうか。石井先生に改めて「有機金属化学」について説明してもらいました。

「『有機金属化学』は、200年にも及ぶ歴史がある有機化学や無機化学とは異なり、戦後に生まれた新しい学問です。有機化合物は、炭素以外の元素では酸素や窒素など限られた元素でできているとされてきましたが、実は炭素は（無機物である）あらゆる金属と共有結合を作れるのです。もちろん「遷移金属」も炭素と結合でき、しかもそれが社会に役立つ新たな効果をもたらすことが分かって、有機金属化学が発展しました。「遷移金属」とは、周期表で左2列、右6列の「典型元素」にはさまれて少し下がっているブロックにある一群の元素を指しますが、すべてが金属で構成されています」

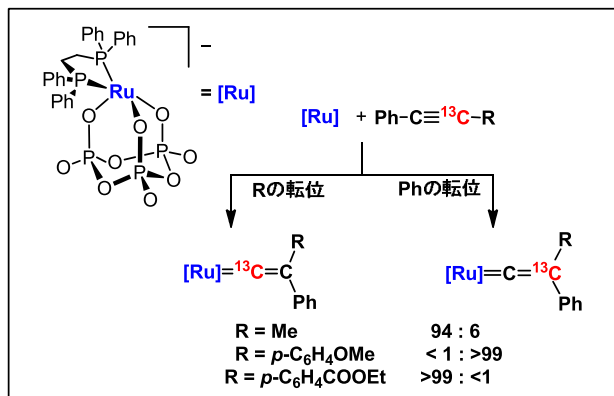
学生による実験が 化学の常識をくつがえす

この遷移金属を試薬とした有機金属化学が、石井研究室の中核を占めています。石井先生に、もう少し詳しく説明してもらいました。

「C-C（炭素-炭素）結合やC-H（炭素-水素）結合は、有機化合物では最も基本的な結合ですが、従来の研究では、例えば炭素と水素の結合を切って、炭素と炭素の結合につながりかえることは自由にはできませんでした。遷移金属の有機金属化合物を使うことで、有機化学でもこうした手法が可能になったのです。研究では、ある程度、

反応を予測しながら実験を行っていくのですが、遷移金属の働きには未知の部分が多く、予想もつかない反応にもしばしば出会います。

数年前に私の研究室のある学生が、アルキン（アセチレン系炭化水素）からビニリデン（化学式：C=C(R)R₂; Rは水素、アルキル基など）を合成する『ビニリデン転位』と呼ばれる実験を試みたことがありました。使われた遷移金属はルテニウム（Ru）です。それまで、水素の転位による合成は知られていましたが、その実験では炭素が転位してビニリデン転位が起こっていたのです。実は私自身、実験の前にこのような結果は予想できず、何も起こらないと思っていたのです。しかしそれは、化学分野のすべての研究者にとって盲点でした。水素も炭素も動く反応はたくさんあるのに、なぜこの実験ではそこに気づかなかったのか。ある種の思い込みがあったからですが、学生でもこうした世界初の発見ができるのが化学の醍醐味なのです。



▲同位体 (¹³C) を使ったビニリデン転位の実験。メチル基 (Me) とフェニル基 (Ph) ではメチル基が 94:6 の比で動きやすいことがわかる。計算機による理論化学でも実験結果が裏付けられた。

実験結果がなぜそうなったかを、コンピュータを使って理論的に裏付ける『計算機化学』という分野があります。この反応については、他大学とも共同して計算機化学の面からも実験結果を検証しました」

チャレンジする対象となる 研究の3つの柱

研究室の学生によるピニリデン転位の発見のように、意外性あふれる化学研究の面白さについて、改めて石井先生に語ってもらいました。

「有機金属化学の分野におけるノーベル化学賞の受賞が目立っていますが、そこでも多くの「偶然」や「想定外」の出来事が重要な役割をしています。例えば白川英樹先生によるアセチレンの重合反応では、学生が触媒濃度を誤って1千倍にしたことで新たな発見につながりました。ここで大切なことは、白川先生がこのとき、どんな反応が起きていたかをすぐに見抜かれたことです。ピニリデン転位も同様ですが、化学実験では、このように予想もできない結果に真実が示されていますので、それに気づいて着目することが重要になります。また、学生がチャレンジしようとする芽をつぶすことなく、応援する姿勢が大事だと私自身も強く感じています」

こうした実験環境のもとで行われる石井先生の研究内容について、さらにお話いただきました。

「遷移金属による実験では、周期表に沿ってルテニウムと同様の結果が得られるかどうかを実験しています。縦に並ぶ遷移金属は性質が似ているのですが、ルテニウムの上にある鉄と下にあるオスmiumも同じピニリデン転位を起こすことが分かりました。次は、これを横に並ぶ元素に広げる試みをしています。イリジウムはできましたが、ロジウムやコバルトではまだ実現できていません。実験では、電子の数を調整しつつトライ&エラーを重ねながら目的に迫ります。もちろん結果を導いた原因も理論的に立証しながら行っています。

研究の2つ目の柱として、お椀型の分子や筒状の分子など、特長ある3次元構造をした分子を配位子（金属に結合する分子）にして、金属の化合物を組み立てる研究を行っています。例えば、筒



▲有機化学と無機化学の中間にあって、その両方の研究に寄与する有機金属化学の可能性を、研究室で追求していく。

状の分子の周囲に金属を結合させると、金属は+（プラス）になりやすいため筒状になった穴の部分には-（マイナス）の電荷をもった分子が入りやすくなるでしょう。現在、こうした有機金属化合物を設計し、その特徴的な性質を分析しています。このような研究によって、有機化学にも金属を扱う無機化学にも新たな手法を提供できる可能性があります。

複数の金属原子を望み通りの3次元構造に配列し変換していく手法が3つ目の柱です。例えばAとBを混ぜて化

合物を作る場合、A-A、A-B、B-Bと3種の組み合わせが成立しますが、A-Bと並ぶ組合せのみを作りたいと思ってもなかなか自由にはできません。『セルフアセンブリ』と言って、材料を混ぜて勝手にできた混合物から運良くたくさんできたものを回収するのが、これまでの方法だったのです。そこで、有機化学で用いられるような合成の戦略を金属化合物の合成に利用する試みを行っています」

研究の基礎として欠かせない 化学の専門知識を習得

このような研究を行うために、「X線構造解析」などの分析化学をはじめ基礎となる専門的な知識も同時に学んでいます。そのなかの一つに「分子の対称性」があります。

「分子の構造を直接確認するためには『X線構造解析』という方法が使われます。その際に、分子が鏡に映したように右手と左手を合わせた形になっているのか、右手と右手の関係になっているのかは、実験データを読み解くうえで重要な判断ポイントになります。そのためには数学で言う「対称性」についての一定の理解が必要になるのです。また、溶液中で分子は結合の回転などにより形を変化させています。この分子の形の変化を調べるにも「対称性」が役立ちます。ですから、その理解は実験について議論する際に欠かせない素養になってきます」

研究室では、こうした専門知識を駆使しながら、研究の3つの柱に沿ってそれぞれが、異なる材料で研究を行っています。もちろん実際の研究では、予想外の結果が常に生じます。

「4年生に対しては、例えば遷移金属を『ルテニウムの代わりにモリブデン（Mo）で実験したらどうなるか』などと私の方で提案する場合もあります。ただ、あくまで私が想定して提案するので、全く違う方向に結果が出てしまうケースは多々あります。常に周期表を見ながら学生一人ひとりが、自分でアイデアを絞りつつ、試行錯誤しています」

学生がチャレンジする姿勢を応援する石井先生の研究室で、世界で初めての発見ができるのも決して夢ではない。そう感じさせてくれる可能性に満ちた研究のフィールドが広がります。



▲個別のテーマに沿って遷移金属を変えながら、実験を繰り返す学生たち。地道な努力から、思いもかけない発見が生まれる。

Message ~受験生に向けて~

自然科学で最も重要なのは、実験をしたり自然界の現象を見て「不思議だ」とか「面白い」「きれいだ」と感動することで、それが心の「種」になります。そんな感動からスタートし、理論の理解へと進むにつれて育つ理科好きの心を「サイエンスマインド」と呼んでいます。分かることは楽しいし、それを大学でも追求してサイエンスマインドを大きく育ててください。そのとき初めて一人前の科学者、技術者へと成長できます。