

応用錯体化学 研究室

有機化学・無機化学の
枠組みを超えた
元素レベルの視点で
革新的な材料を創出



中建介 教授
[分子化学系]

[経歴]
1990年04月- 鹿児島大学 助手
1996年03月- 京都大学 助手
2000年07月- 京都大学 助教授
2007年11月- 京都工芸繊維大学 教授

[研究分野]
高分子化学、無機高分子、有機無機ハイブリッド



[研究概要]
有機合成化学を土台とし、
高分子合成、無機合成の手法も
積極的に取り入れて
有機無機複合型化合物・錯体および
ナノ複合材料の開拓を行っています。
革新的な材料の開発を目指し、
化学反応と化学的相互作用を
真に理解し制御することに
重きを置いています。

私たちの身の回りに存在するさまざまなものは、
どれも何らかの材料からできています。
より良いものをつくるためには、材料の進化が欠かせません。
応用錯体化学研究室では「元素ブロック」のアプローチで
新しい材料創製に取り組み、産業界への貢献を目指しています。

元素ブロックの考え方で これまでにない材料を

「実験をしていると、予想しなかった特性や物性を持った物質が生まれることがある。その偶然の出会いが一つの醍醐味です」。ご自身の研究の面白さについてこう話すのは、応用錯体化学研究室の中先生。従来の有機材料・無機材料という区分にとらわれず、原子レベルの特性に着目してそれらを混ぜ合わせることで、世の中に役立つ新たな材料を生み出す研究に取り組んでいます。なぜ今、有機・無機を超えたアプローチが求められるのか。研究の背景について、先生は次のように説明してくれました。「日本の産業界は、革新的な素材を求めていました。例えば、今後は曲げたり丸めたりできるスマートフォンが出てくると予想されますが、その時には曲げても破れないような素材が必要となるでしょう。基本的にはそうした柔軟性と耐久性というのは、あちらを立てればこちらが立たず、というトレードオフの関係にあります。このトレードオフになる特性の両立といふ課題に対して、従来は有機と無機を単純に混ぜるという対処を行ってきました。しかし、それだけではなかなか問題解決に至らない。そこで私たちは分子レベル・原子レベルまでさかのぼり、原子の特性も考慮したような材料設計、「元素ブロック」という考え方で課題に挑んでいます。有機化学も無機化学も、大本にあるのは同じ元素。両者を区別せずに、一つの元素の集団として取り扱って新しい材料をつくっていきましょう」と学生にも伝えています」

ヒ素、ケイ素が持つ可能性

中先生が特に注目している元素は二つあります。一つ目はヒ素。ヒ素と聞くと毒性や危険性が真っ先に思い浮かびますが、どのような点に着目しているのでしょうか。「ヒ素は生命維持に欠かせない必須元素とされていますが、その性質は化学的にはよく分かっていません。そこで、ヒ素を有機化合物の骨格に組み入れて特徴を調べ始めたところ、有機ヒ素化合物は分子構造や電子状態の柔軟性や、空気によって酸化されにくい性質を持っていることを発見しました。有機ヒ素化合物のこの特性は、さまざまな応用が考えられると言います。「例えば、有機半導体は無機クスルーにつながります。シリコーン樹脂の中で

半導体に比べて機能のチューニングが有利であるが、耐久性に劣ります。まだきちんと分かっていませんが、空気や紫外線に対する安定性、電気化学的な安定性が実験で見えてきているので、ヒ素には大きな可能性を感じます。ヒ素は環境を汚染するものと認識されていますが、そんなヒ素を資源として使えるようになれば、ヒ素を回収して環境を浄化しながら、そのヒ素を原料として売るといった商売も成り立つでしょう。夢みたいな話ですが、そんな環境にも経済にもプラスになるビジネスが生まれたらいいなと思っています」。

ヒ素とともに研究を進めているのがケイ素。ケイ素原子に酸素原子が結合したシリカは硬くてさまざまな耐性を持っている点が特徴です。これに有機成分を結合したケイ素化合物であるシリコーンは有機材料と無機材料の特性を併せ持った優れた性質を有しています。「シリコーン樹脂は実際に産業で多用されていますが、分子構造と物性の相関についてはまだ分かっていない点も多く、将来の社会的要請に応えるためのトレードオフになる物性の両立は困難です。これに対して元素レベルのデザインである元素ブロックによって、通常のシリコーン樹脂では達成できない高機能化につなげていく考えです。これまでの研究では、有機成分が結合したケイ素化合物の構造を元素レベルでデザインすることで透明性と熱伝導性を兼ね備えた材料の開発に成功しました。この二つの性質は、従来トレードオフの関係にあると考えられていたものです。材料の用途としては、LEDを保護する封止材が考えられると言います。LEDの高輝度化がどんどん進むと同時に、より多くの熱を発するようになっていることから、光を透過しつつ熱を逃がしやすい素材が求められています。さらに最近では紫外線に対して耐性のある素材の開発にも成功しています。「例えば、最近は車のフロントガラスがどんどん樹脂、有機材料に置き換わっています。有機材料は軽く、車の軽量化に有効なのですが、環境中で分解されやすいという欠点があります。紫外線に当てていると、どんどん着色して脆くなっていくんです。透明性の加工性に加えて紫外線耐久性を上げることができるのであれば、そうした材料のブレーカスルーにつながります。シリコーン樹脂の中で

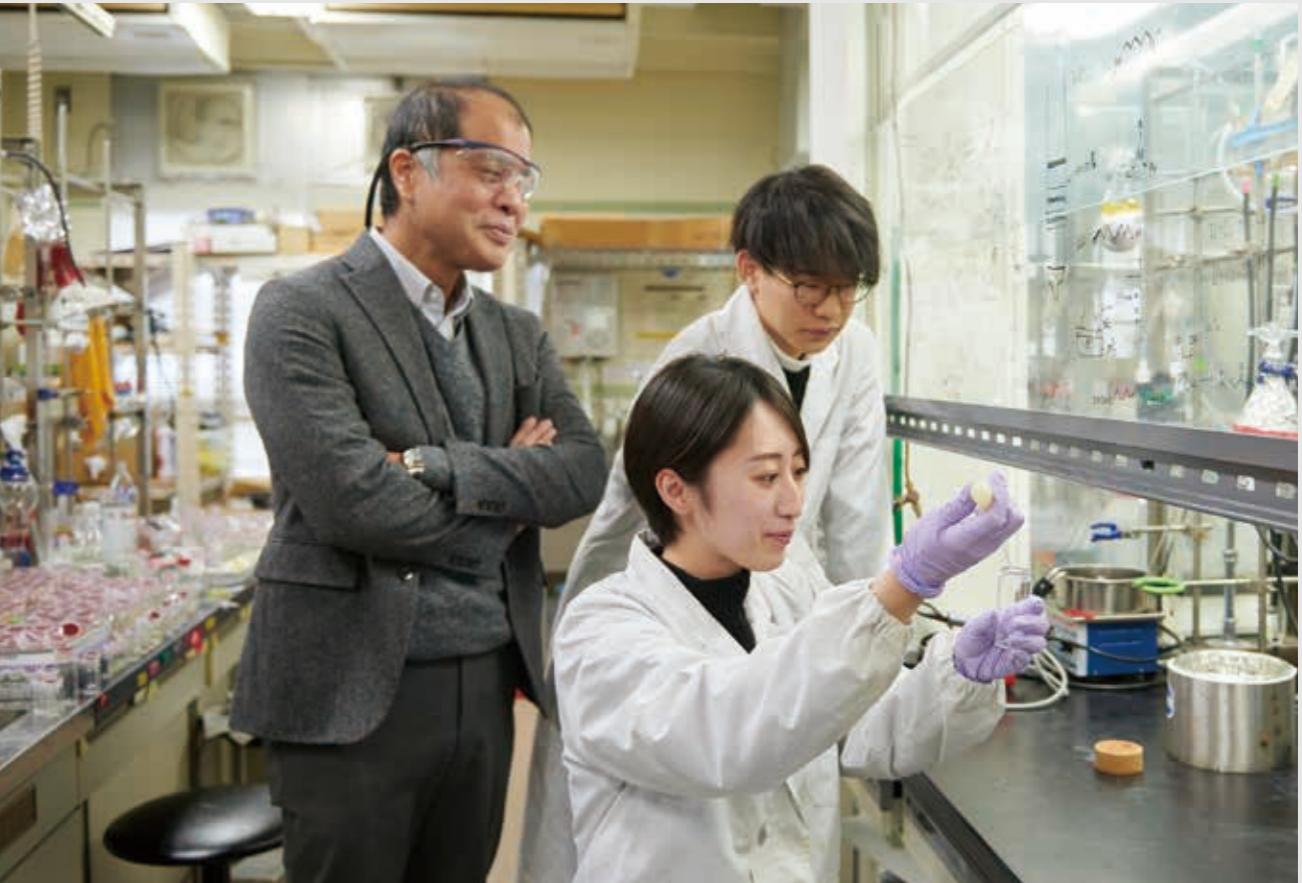


Fig.1——失敗に見えた実験が大発見につながることも



Fig.2——元素レベルでデザインされたシルセスキオキサン材料



Fig.3——多彩な発光色のヒ素含有化合物

産業的に注目されているケイ素化合物は『シリセスキオキサン』というのですが、その設計の仕方によって、これまでにない特性を持った材料を実現できると期待しています。現在特に注目しているのは『かご型シリセスキオキサン』というものです。次世代の通信技術として世の中ではBeyond 5Gへの挑戦が始まっていますが、そこで必要とされる材料特性をクリアする上でかご型シリセスキオキサンが有用と考え、新たに研究に着手しています」

元素周期表でヒ素の下に位置するアンチモンについても研究し始めたという中先生。「これからますます楽しめるな」と、興味は尽きることがありません。

予想外を楽しむ姿勢を

冒頭の先生の言葉にあるように、この研究では思いがけない発見が多くあると言います。「ヒ素もケイ素も、分子構造をこうすればこんな特性が出ますよ、というところはまだよく分かっていません。そんな中で『こうした特性を実現しよう』と課題を決めて実験を進めていくんですが、狙っていたものと全然違う特性が出てきて、そちらの方が面白いというパターンが多くあります」。ゴールを決めて一直線に進むだけなく、横道にそれることも大切にする研究姿勢。その考え方は、研究室の学生たちにも受け継がれています。「卒業研究などでも主要テーマを設定するんですが、その時に考えている『こんな物性が出るだろう』という予測は狙い

通りうまくいくとは限らない。でも、もし予想と異なる結果が出たとしても、情報を集めて考え抜いて、新たな用途を見いだせたらそれは失敗ではありません。過去には、失敗に見えた学生の実験が特許に結び付く大発見につながった事例もありました。ですので、いろんな観点から調べてみましょう、と学生にはいつも伝えています。そこから、独自に何かを見つけるという成功体験を積んで、研究の楽しさを感じてもらえると嬉しいですね」

世の中に貢献できる新素材の開発に向けて、これからは他分野の研究室とも活発に交流して新しい分野を開拓していくたい、と語る中先生。新たな刺激を得てどのような材料が生まれていくのか、今後も目が離せません。