

ショートレクチャー「未踏構造合成への挑戦—こんな分子ができたらすごい！—」  
 学生からの質問・コメントと上野 裕 助教 からの回答一覧

コメント	<p>分子を新たに合成できることすら初めて知ったし、存在するだけではなく安定が必要であるということに驚きました。このような言葉が物理工学にそぐわないことは承知の上ですが、役に立つ前提なのはもちろん、新たな方法を模索しながら未踏の領域を目指すことがとてもロマンのあることのように思えます。分子を新たに合成できることすら初めて知ったし、存在するだけではなく安定が必要であるということに驚きました。このような言葉が物理工学にそぐわないことは承知の上ですが、役に立つ前提なのはもちろん、新たな方法を模索しながら未踏の領域を目指すことがとてもロマンのあることのように思えます。</p>
回答	<p>そぐわない言葉ではないと思います。ロマンのある研究ができることは、研究者にとってこの上ない幸せなことです。</p> <p>『役に立つ研究』とはどのようなものでしょうか。エネルギー問題など、現在の社会で具体化している問題を解決するための研究は、『役に立つ』ことの一つであるとは思いますが、しかし、『今』や『近い将来』ばかりに気を取られていけば、遠い未来の役に立つ研究は難しいかもしれません。『電気によってここまで豊かな社会ができること』も、『電気が社会問題を引き起こす』ということもファラデーは予想していなかったでしょう。</p> <p>私たちの研究では、『物質合成のための新しいコンセプト』を生み出したいと思っています。一つの新しいコンセプトに基づき、今はだれも作ることができない数億種類以上の分子合成に繋げることができたらすごいと思いませんか？エネルギー問題を解決するための研究も、『材料（分子）』がなければ進みません。だからこそ合成にはロマンがあります！</p>

質問	<p>オリジナルアプローチによって物質の合成を試みる、とのことでしたが同様の発想による先行研究は全く存在しないということなのでしょうか。</p> <p>また、気合・根性を要する『挑戦的研究』においては実際に目的の物質ができるかどうかは一切予測や見積もりができないのでしょうか。その場合、良い結果が出ないときの撤退・継続はどのように判断するのでしょうか。</p>
回答	<p>どこまでを『同様の発想』とするかが難しいところですが、同様の発想による研究が全く存在しないか、と問われると、発想自体はあったのだらうと思います。『理屈ではうまくいく』ことをどのように具体的に実現するか、という『手法』に関する部分では、我々が進めている研究は現状世界で唯一です。その手法を確立することができた（その方法で新しい構造を創ることができると証明して見せた）ことが、一つの大きな成果であり、めちやくちやうれしかったことです。</p> <p>うまくいかないことをずっとやり続けるわけにはいかず、どこかで見切りをつけなければならないことが多々あります。失敗から得られる情報も、見切りをつけるべきか、継続すべきかを判断する重要な結果です。『このように判断しています』とはっきりお答えすることは難しいのですが、そのあたりは研究者によって異なる線引きがあると思います。私は諦めの悪い方ですので、かかる時間と成果のバランスが取れているようであれば、できる限りは追い続けます！</p>

質問	<p>フラーレンの内部に原子を打ち込む、プラズマを使った手法の紹介がありましたが、この手法によって生じた「隙間」は原子が内部に入った後に勝手に埋め合わされるのでしょうか？</p> <p>また、この「隙間」によってフラーレン内部の超不活性という性質は失われないのでしょうか？</p>
回答	<p>隙間は埋まります、というのは厳密には正しくないのですが、結果だけを述べると穴は埋まります。従って超不活性という性質は保たれます。</p>

<p>質問</p>	<p>とても興味深い講義をしていただきありがとうございました。私は有機化学に興味があり YouTube でいろいろな動画を見ていて、フラーレンに分子を有機化学的手法で封入するという研究は知っていましたが、プラズマを使った研究は知らなかったのが大変驚きました。講義の中で有機化学的手法とプラズマを用いた手法が互いに欠点を補っているのが印象に残りました。仮にプラズマを用いた手法が開発されずに、有機化学的手法のみを用いて研究を行えば、今回の講義で取り上げられた研究が生まれなかったと思うと、ひとつの分野に特化するのではなく多分野にわたって学び、様々な視点から物事を見ることが重要なんだと実感しました。自分の興味のある有機化学だけでなく、今まで知らなかったような分野でも積極的に学んでいきたいと思えます。</p> <p>今回の講義についての質問なのですが、フラーレンに封入される分子や原子はリチウムイオンや水分子といった比較的小さな物質ですが、それよりも大きな物質をフラーレンに封入するためにはどのような方法が考えられるのでしょうか？有機化学的手法についてはフラーレンのサイズを大きくすれば解決できるのではないかと思います。プラズマを用いた手法ではフラーレンの環構造の炭素の数を増やすことで隙間を大きくすることが解決方法として考えられると思います。もしよければこれらの方法についての上野先生のご意見も伺いたいです。</p>
<p>回答</p>	<p>化学色の濃いコメントですね！ありがとうございます。連絡もらえれば見に来ていただいても構いませんので、機会があれば連絡してください。有機化学に興味があるとのことですが、今の興味にこだわることなく、いろいろな分野に触れるとよいと思います。知識が深まるとまた違った見方ができるようになるはずです。例えば、『有機化学』の中にも、反応開発、材料合成、反応機構・速度論などなど、いろいろな研究があります。今は『興味がない、苦手だ』と思っている分野にも、もしかしたら興味をそそるものがあるかもしれませんよ！コロナウイルス感染症により、youtube にいろいろな講演動画がアップされることが増えているようなので、そういったものを活用していろいろな話に触れて、知識・興味の幅を広げていってください！</p> <p>研究についてですが、大きなサイズのフラーレンを使う、というのは一つの方法ですね。我々もすでに少し大きなサイズの C70 を使った研究に着手しています。ただ、有機合成反応に対する反応性も違うし、プラズマ照射の際の最適なエネルギーも違うので、それぞれに適切な合成条件を探していかなければ実現は難しいですね。これを達成するための新しい装置を作っていますが、改良しなければならないことが多そうなので、かなり大変です。</p>
<p>質問</p>	<p>まず率直に、想定されている理論上の分子数が莫大であり驚いた。合理的研究と挑戦的研究という二つの研究方針があったが、個人的には自由な発想に基づく挑戦的研究の方が面白そうだった。また未開構造合成で、ほかにどのようなものが創造可能なのか、例えば生命科学といったほかの分野でも活かせるのかどうかについて気になった。</p>
<p>回答</p>	<p>理想では自在にプラズマを操って、どんな原子でもボールの中に打ち込むことができるようにして、どんな構造にもアプローチできるようにしたいです。これができると、宇宙空間でしか存在が認められないような構造を実際に作ることもできるでしょうし、構造によっては生命の起源に繋がるようなすごいことがわかるのかもしれませんが、今はまだ『不安定物質合成』の基礎中の基礎の段階にいると思っていますので、まずは自分たちオリジナルの方法論の重要性・有用性をアピールするところから、ということになります。もっと頑張ります！</p>
<p>コメント</p>	<p>分子を作れるなんて知らなかったのがとても驚いた。</p>
<p>回答</p>	<p>これからもどんどん新しい分子が合成され、いろいろな技術が発展していくと思います。最近だとワクチンの開発が経済学分野とも関連しているのではないのでしょうか。医薬品も分子合成と関連していますし、経済学部の方がチームに入っている、という研究も最近は見かける頻度が高くなってきたように思います。こういった異分野融合の講義を通じ、少しでもそういった学際的な研究を知っていただき、今後のご自身の研究??や進路などにも活かしていただければと思います！</p>

質問	フラーレンの種類がいくつか紹介されていましたが、種類によって原子を内部に打ち込む際の手法などは異なりますか。もし、異なるのであればどのような違いがあるのでしょうか。
回答	フラーレンはサイズが大きくなるほど、基本的には構造の『曲がり方』（歪み）が緩やかになることが多いです。（イメージとしては、例えば陸上競技場のトラックも、外側の方が曲がり方が緩やかですよ。）この歪みによって、原子を打ち込むために必要なエネルギーも変わると思います。実験によって効率よく原子を打ち込む条件をしっかりと検討しています。

質問	科学の可能性を知ることができて、とても面白い内容だと感じた。フラーレン C60 の中に原子を打ち込む方法について打ち込めるのはどのくらいの大きさまでなのか疑問に思った。また、何がきっかけでオリジナルのアプローチ方法が思いついたのか気になった。
回答	おもしろい内容だと感じていただけて良かったです！大きさについてですが、自分たちの計算や実験で検討し、カリウムまでは打ち込むことができるだろうと思っています。それ以上は試したことがないのでまだわかりませんが、これまでの検討から予想すると、もっと大きなものも原理的には打ち込むことができると予想できます。 そもそもこの実験は、気相クラスターの研究（真空中でしか取り扱えない化学種の研究）の話の聞いたとき、真空中でしか安定に実験を行うことができない不安定化学種の基礎実験と、特異な反応性・物性の応用との間の大きなギャップを認識したことが一つのきっかけでした。アプローチについては、プラズマをもちいて気相中でイオンを輸送する装置を使っていたので、独自の装置を活用して原子を1つ1つ組み上げることができたら楽だな、とシンプルに思いました... 無論、全然楽ではなく、大変でしたが、だんだん実現可能性が見えてきて興奮しています！

コメント	研究は地道なものだと思いますが、目的を達成したときや未知のものを発見・解明できたときの喜びは計り知れないのだろうなと思いました。
回答	はい！本当に計り知れないですね！でもきっとどんな分野でもそういう喜びがあるのではないかと思います。渡邊さんもそういう喜びに繋がるようなことを見つけられるとよいですね！

質問	プラズマを用いると、なぜフラーレン内部に原子を打ち込むことができるのですか？
回答	プラズマを用いると打ち込むことができる、という表現は厳密には少し違っていて、厳密には『イオン』を用いると打ち込むことができ、プラズマを用いるとイオンの輸送効率を上げられるため、イオンの打ち込みの効率がよい、ということになります。イオンビームだと電荷の反発のため、密度を上げられないのに対し、電氣的に中性なプラズマを用いるとその問題を解決することができる、ということになります。

質問	フラーレンに穴を開ける手段として有機合成というものがありましたが、その解説の際に使用された図で、希ガスであるアルゴンの元素記号が見えました。反応性に乏しい希ガスを化合物として利用するにはどのような工程を踏むのでしょうか？
回答	希ガスを化合物として利用するのは難しいですね。他の原子と結合させることは難しそうですが、ほかの原子の近くに無理やり配置することはできるのではないかと思います。『confinement』という単語をよく使うのですが、フラーレンの中に閉じ込めることで、希ガスを活用した新しい分子ができるのではないかとこの観点から、我々もヘリウムを使った実験を行っています。