

令和3(2021)年度学術変革領域研究(A)

2.5次元物質科学：
社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト

計画班メンバー特別対談 2

AO1班

物質創製班 研究分担者

(有機合成に基づく擬二次元構造の創製)

櫻井 英博

現在の主な研究について教えてください。

櫻井 化学的に炭素同士の結合を積み上げていくボトムアップ型の物質合成を専門としています。特に得意としているのは共役系がお椀状に湾曲したバッキーボウルと呼ばれる化合物です。バッキーボウルにはコラヌレンとスマネンという2つの基本構造があり、このスマネンの合成に世界で初めて成功しました。このスマネンを利用した材料開発、構造の一部にスマネンを持つ新物質の創成、物性研究が主なテーマです。他にも合金ナノクラスター触媒や動的有機結晶の研究なども行っています。グラフェン等の二次元物質は平面構造ですが、私の扱う分子は湾曲しているので、その構造が2.5の0.5を担えるのではないかと考えています。

大野 私はデバイス応用を目指した研究を担当しています。もともとは窒化ガリウムなどの化合物半導体を扱っていましたが、カーボンナノチューブ(CNT)に出会ってからは、CNTを半導体や機械学習手法のひとつであるリザーバーコンピューティングに展開するなどの応用研究を進めています。現在の半導体は微細化や低消費電力化に限界がありますが、ナノ材料はこの限界を超える低消費電力性が期待でき、更に柔軟性などの新しい機能を持ちます。ナノ材料のひとつであるCNTは神様しか作れないような美しい構造を持ち、非常に優れた電子物性を持つけれども、現在の技術ではうまく使うことができていません。それを我々の生活に役に立つように、使えるようにしていくことが工学の役目です。私が生きてる間になんとか成し遂げていきたいと思っています。

CNTは一次元材料です。これを二次元材料やスマネン等の分子と組み合わせると、分子・原子レベルで新しい機能が出てくる可能性があります。CNTを基盤にしなから、領域メンバーが持つ多様な次元の材料を組み合わせると新機能を探求することが私にとっての2.5次元です。

AO5班

機能創出班 研究分担者

(2.5次元材料に基づくフレキシブルエレクトロニクスの創製)

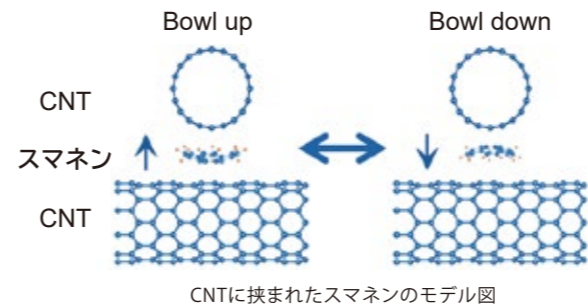
大野 雄高

これまでどのような研究に取り組んでいらっしゃいましたか？

櫻井 学部頃から反応開発や有機金属化学を研究対象としており、ポスドクでは高分子触媒の反応機構解析を研究していました。スマネンのような共役系との出会いはドクターの時で、ある有機合成の著名な先生がスマネンの合成を試みたができなかった、という論文を読んだ時です。スマネンは6員環を中心にしたシンプルな構造のバッキーボウル。中心が5員環のコラヌレンは古くから合成に成功していましたが、スマネンは成功例がありませんでした。有名な先生でも作れない、とても単純な構造に見える分子なのになぜだろうと不思議でした。その後は有機金属や反応開発研究を続けながら、時折スマネン合成のアイデアを育てていきました。ポスドクから日本に帰ってきたタイミングで、片手間にスマネンの研究をスタート。これまでの研究も同時に進めながら、2000年からは学生さんと一緒に取り組み、出会いから10年を経た2003年、スマネンの合成に成功しました。

この手の研究分野を我々は構造有機化学と呼びますが、この分野はそれまでは信頼性の高い古典的な合成経路が用いられてきました。私はもともと反応開発を専門としていたので、これまでの常識とは異なる有機金属触媒反応を用いたアプローチでスマネンの合成にたどり着くことができました。化学の分野では、それ以前は流派や分野の垣根がしっかりあり、自分のような反応開発の人間が構造有機化学分野に参入することはほとんどなかったのですが、今ではその垣根を越えて活躍するスーパースターもどんどん現れています。もしもそのきっかけの1つに自分の成果がなっているとしたら嬉しく思います。

大野 半導体の研究室に入り、大学院生のときは量子効果デバイスを研究していました。その後、半導体を



CNTに挟まれたスマネンのモデル図



合成化学と電子工学が出会った瞬間



共同研究後の交流会 - 学生や若手研究者も交えて -

研究している割に半導体産業のことを知らないなと思って、実用に近いパワーデバイスの研究をしました。特に、窒化ガリウムパワーデバイスの電圧破壊現象や安定性や基礎的な界面制御をテーマにしました。半導体の研究分野は実用に近いものが多く、5年後には実用化される技術もあります。しかし私は半導体をやりながらも、10~20年、もっと未来、この先に役に立つかわからないけれど、これができたらすごいというものを研究したいと思っています。せっかく企業でなく大学で研究しているので、その思いが強まったのはCNTに出会ってからです。CNTの中にフラーレンを入れて物性探索をしていた先生と出会い、一緒に研究を進めているうちに、ずっと先に役立つかもしれないこと、人がやらないことに取り組むことが基本スタンスになっていきました。

物理と化学と、研究分野が異なりますがこれまで交流の機会はありましたか？

櫻井 2.5次元領域でお会いするまで機会はありませんでした。ですが今回お話しして、とても近いところでオーバーラップしていたことが分かりました。大野さんと同じ研究室出身の方と共同研究していたりとか。

大野 そうですね。ナノカーボン材料の研究を始めて、様々な異分野の方と出会うようになりました。半導体の分野は半導体の研究者ばかりで、シリコン、窒化ガリウムといった材料で細分化されます。ナノカーボン分野では、化学、物性物理、材料、我々のようなエレクトロニクス、さらに生物や医学系の人もありますね。広い分野の人が集まってきて面白いですよ。

櫻井 今、大野さんと一緒に共同研究を進めていますが、単位も違うし用語も違います。もう慣れましたけれども(笑)。こうやって垣根を越えていく、違う視点から見えることを共有する、コラボレーションしていく、大変な時もありますがとても楽しく仕事できています。

先生方で進めていらっしゃる共同研究のきっかけについて教えてください。

櫻井 最初の領域会議のポスターかコーヒーブレイクの立ち話で、面白そうだねってところからでしょうか？

大野 そう思います。櫻井さんのスマネンはお椀型をした分子で、分子ひとつで上下にプラスとマイナスの電荷を持つ特別な材料です。さらに力を加えればペコッと椀がひっくり返ります。エレクトロニクスの人間からすると、分子レベルで分極し、電荷の方向が変わるのは非常に魅力的です。例えば、分極や電荷が変わることを利用

して、極小のメモリの実現が期待できます。現在はCNTにスマネンを共有結合でつけてもらって、新しい複合構造の可能性を調べているところです。岡田さん(A01)にも入ってもらって、反転するときのエネルギーや電界、メモリ特性が得られる条件等について理論的にサポートしてもらっています。

櫻井 スマネンのお椀がひっくり返る、双極子モーメントが入れ替わる現象を何かに使いたいと思っていました。今回のことで、化学が考える応用とエレクトロニクスの応用は全然違うことがよく分かりましたね。本当に面白いです。

領域の皆様へメッセージをお願いします。

大野 我々には半導体デバイスの研究をやってきたバックグラウンドがあり、二次元材料や2.5次元材料の新奇物性をデバイスとして利用できるものにするのが得意です。何か新しい機能が見つかったときご相談いただくと、応用に関してご提案し、実際に作って実証していくことができると思います。何か見つかった時にはぜひお声がけ下さい。

櫻井 私はスマネンやそれに関わる様々な誘導体を作ってお提供すること、その特性の提示が可能で。皆さまの材料やデバイスで利用していくアイデアに合わせて、オンデマンド合成していきます。またスマネンに限らずもっと一般的に、化学的に結合を形成する手法を提供することでこの領域に貢献できることがあれば、いつでも声をかけてほしいです。



櫻井 英博

大阪大学
大学院工学研究科
教授



大野 雄高

名古屋大学
未来材料・システム研究所
教授

(活動班順 敬称略)

ライター：柏田 百代 (広報担当)

領域ホームページ <https://25d-materials.jp>

(ニュースレター公開日：2024年6月11日)