

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

# 公募班メンバー特別対談 2

## A01班

### 物質創製班 公募班

(アトミックレイヤーファンクションナリゼーションによる  
ヤヌス原子層科学の開拓)

## 加藤 俊顕

今回、公募班にご応募された理由を教えてくださいませんか？

加藤 前身の原子層科学からこの分野にはお世話になっています。カーボンナノチューブもまだやってるんですけど、グラフェンが一次元になったグラフェンナリボンって材料と、後は遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)という3本柱で、今は研究を進めています。個人的には合成がすごく好きで、特に合成機構に関していろいろ理解していきたいなところがあるんです。更に電子工学専攻に属しているんで、手軽にデバイスが作れる環境やファシリティが潤沢にあるんですよ。そこを使って何か研究室として新しい材料を自分たちで作ってデバイス化して、最後にその物性を測るところを、一つのサイクルとして回している感じですかね。

杉本 私は計測屋です。具体的には走査プローブ顕微鏡という「原子が見れる顕微鏡」の装置を開発してきて、その分解能を上げていくという仕事をやってきました。これは先端が原子1つレベルになっている、すごく鋭くとかった針を対象の表面に近づけて現象認識する装置です。通常の顕微鏡の原理とは全く異なり、レコードプレーヤーみたいなイメージが近いんです。これは物質の表面しか見ることができないんですが、二次元材料とか2.5次元材料というのはある意味「表面しか存在しない」物質なので、この顕微鏡が最大限生かされるのでは、そう期待して応募しました。

先生方が進められているご研究は、どういったところが2.5次元的だとお考えでしょう？

加藤 最近始めたのが、「ヤヌス」という構造をもつ物質に関する研究になります。

## A03班

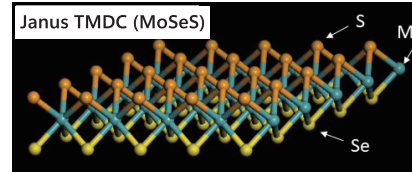
### 分析班 公募班

(走査プローブ顕微鏡を用いた2.5次元物質の創製と評価)

## 杉本 宜昭

TMDCは、簡単に言えば表と裏が同じサンドイッチ状の構造ですが、ヤヌスはその表と裏の構成する原子が異なる非対称な構造ですね。TMDCでは面の垂直方向は対象性が保たれてると思うんですけど、ヤヌスは当然偏りがあるので、垂直方向のダイポールが自発的に備わっています。だからこそ、光物性や電気伝導特性といったヤヌスの物性は、普通の二次元材料とは違うんじゃないかなということを期待しています。この生成技術のポイントがプラズマ状態を使うことなんです。実はプラズマ材料科学が元々の専門だったので、そこからのアイデアです。ただ、そんな対称性が保たれていない中途半端な構造なのに、どうして安定に生成可能なかっていうのは、まだ分かってはいないんです。いや、でもわからない方が「この先に面白いことがある」というところに繋がるので(笑)。それから今ネックになっていることが、「様々な種類のヤヌスを作るために、まずはいかにもとのTMDCを単層化するか」だったりします。剥離法で単層化しづらいTMDCがたくさんありまして……その辺り、何かしらの方法で単層化ができれば、世界でまだ作られてない種類のヤヌスが実現できると思うので。それは本気で狙っていますね。

杉本 いろんな面白い2.5次元材料を作る先生がいらっしゃるんで、とにかく沢山それを測りたいっていう願望があったのは、正直、否定できないんですけど。でもそれだけでは当然、研究としてはダメですからね(笑)。そこで今「シリセン」という、シリコン原子がハニカム状に並んだ物質があるんですが、その表面上に原子を吸着させる、そういう研究も始めました。特に我々が普段使用している顕微鏡は「原子を動かす」ことができるので、ただ闇雲にめちゃくちゃに吸着させるのではなく、吸着させる原子の並び方を自由にデザインした上で、更にその場で直接評価できるのでは、そう考えたんですよ。特にシリコン原子を載せたいですね。



ヤヌスTMDC構造

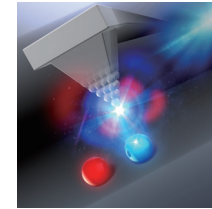
なぜかといえば、本来シリコンとは磁性を持たない原子です。でも、シリセンの上に1個のシリコン原子を吸着することで、吸着した原子にスピンの発現して最小単位の磁石ができるんじゃないか、っていうことを理論的に思いついたからなんです。その磁性を利用して、将来的には極めて小型のメモリや記録素子として使用できる可能性があるんじゃないかと。これはシリセンの特殊性によるもので電子1個分の不対電子から、最大の磁性が生まれるんですよ。私も率直に言えば、それについて書かれた理論の論文を読むまでは、意外な感じがしましたけど。

今後この領域で共同研究をしていきたいテーマなどがあれば、教えてくださいませんか？

加藤 特にヤヌスに関しては、去年ぐらいから安定に合成でき始めたので、世界的にもすごく競争が激しくなっており、そこに遅れないよう気を付けています。また、ヤヌスナノチューブを作りたいんですよ。TMDCナノチューブというのは、最近蓬田さんや中西さんもやってるんですけど、ヤヌスのナノチューブができれば、これまた世界初なので。また杉本さんから、先ほどダイポールを観測することが得意という話を伺って、例えばヤヌス同士が重なったときに本当にダイポール同士も足し合わせになるのか、あるいは反対に打ち消しあうのか。そこはまだ、しっかりと研究されていない話なんです。なので、是非一緒に研究できたら、と思いました。

そこが分かれば、例えば更に最近の流行りのツイストの話と絡めて、「このアングルだとちゃんと直列の乾電池みたいに、すごく大きな巨大ダイポールができるよ」そんな仮説が実測できたなら、といった応用的な研究へと繋がっていくので、是非よろしくお願ひします。

杉本 わかりました。こちらこそよろしくお願ひします(笑)。それから、大阪大学の櫻井さんがスマネンというお椀型の分子の研究をしているんですが、これは表面が湾曲しているので、炭素でしか構成されていない分子のはずなのに、ダイポールがあるという非常に面白い特性があるんですよ。それが、どういったメカニズムで表面にひっつくかっていうのを、吾郷さんや櫻井さんに頼まれて分析しています。また我々の顕微鏡は、電気分極を計測するのも、クーロン力が識別できますので得意です。合わせてそこも測ることで、面白い特性が見られるかなと期待しています。その点、岡田さんも、結構色んなアイデアをお持ちなので、是非相談していきたいですね。



走査プローブ顕微鏡の原理(模式図)

せっかくなので将来的には合成からデバイス化、理論の解釈といった研究者同士の垣根を超えてタッグを組むことで、より大きな枠組みで研究を進めていきたいという野望もあります。

今後二年間で公募班としてやっていきたいテーマや展望について教えてください

加藤 実はこれまで私、そんなに共同研究が得意じゃなかったんですよ(笑)。ですが、せっかくこの領域に参加させていただいた訳ですからそのご縁を通じて、研究者同士の相互作用から自分1人ではできなかった新しい発想を生み出したり、また反対に皆さんにも貢献できるようにしていきたいですね。更に将来的に、まだ体系立っていない「ヤヌスの学理」を構築したいんです。是非、領域の皆さんと一緒にそこへと辿り着けたら、そう思います。

杉本 私が専門としている走査プローブ顕微鏡は表面しか見えないという欠点がありますが、表面に対しては100%その良さを生かすことができます。これは2.5次元材料を評価する非常に良いツールだと考えています。今回公募班に選んでいただいたことで、この技術を通じて2.5次元物質科学の分野で活躍できる場を提供していただきました。今後はより様々な皆さんのニーズに応えられるように一層技術力を上げていきたいですし、より自分の研究を高める機会にもできたらなと思っています。



加藤 俊顕  
東北大学  
大学院  
工学研究科  
准教授



杉本 宜昭  
東京大学  
大学院  
新領域創成科学研究科  
教授

(五十音順 敬称略)

領域ホームページ <https://25d-materials.jp>  
(ニュースレター公開日:2022年7月27日)