

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 15

A02班

集積化班 公募研究

(ナノ空間を活用した
2.5次元TMDs層間化合物の創生と電子物性解明)

菅原 克明

A04班

物性開拓班 公募研究

(インターカレーション技術を用いた磁性の制御と新規開拓)

松岡 秀樹

公募班にご応募された理由を教えてください。

菅原 僕は2.5次元領域の前身の原子層科学に参加しており、その時のネットワークもあり応募しました。今回の2.5次元では原子層科学の時にはなかったアイデアが展開されているので、改めて原子層に関してこれまでとは異なる見方ができるこの領域に挑戦したいと考え応募しました。

松岡 公募研究説明会に参加した際、応用も基礎も両方あり、間口の広さを感じました。その時に異なる分野同士が関わりあって新しいことを進めていくという印象を持ち、それが魅力的でした。自分自身は基礎寄りの研究をしているため、この領域に参加している方々の応用に対する知見、交流を持つことで見識が広がること、何か新しい共同研究が生まれるのではないかと期待があり応募しました。

先生方の主要な研究についてお伺いしたいです。

松岡 私は原子層材料の層間に何をを入れるかという自由度でバリエーションを増やし、新しい材料を開発、研究していきたいと考えています。この層間に何か入れることをインターカレーションといい、試料の合成時に元素をインターカレーションしておくことが可能な一方で、電気化学的にアルカリイオンを出し入れすることも可能です。私の研究ではこれまで基本的にリチウムイオンの出し入れに焦点をあてて、電圧のオンオフで挙動を制御することで、物質の様々な特性をコントロールしてきました。最近ではバリエーションを増やすために、リチウムイオン以外にも様々なインターカレーションを試しており、電荷をもつ有機分子なども取り入れています。

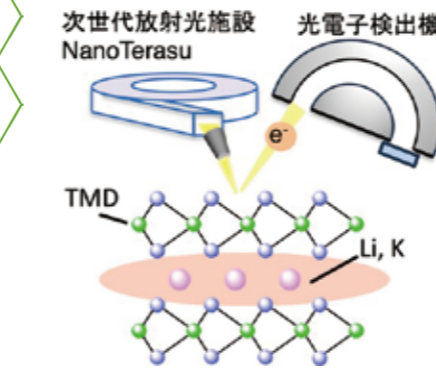
菅原 材料作りという面では、僕と松岡さんは同じ分

子線エピタキシー法(MBE)を使って遷移金属ダイカルコゲナイドなど、原子層材料の作製を行っています。剥離法のようにペリペリと剥がすことでは得られないような、ボトムアップ型で原子層薄膜を作る材料作製が得意です。剥離法やスタンプ法は、すでにできている多層の層状材料を単層化したり、単層どうしを貼り合わせて2層にしたりできます。それに対してMBE法は、例えばグラフェンの上に本来準安定な結晶構造をもつ別の原子層薄膜を作製することも可能です。この点に魅力を感じ、現在もさまざまな薄膜材料をMBE法を用いて合成しています。そして材料を評価する実験手法として、僕らが得意とする角度分解光電子分光(ARPES)を用いて、材料物性の基礎となる電子構造を直接観測することを主に行っています。このように、作ることで測ることを両輪として研究を進めています。

松岡 菅原さんは今まで発見されていなかった、とても面白い材料をたくさん作っていらっしゃるんですね。測り手であると同時に作り手であることから生まれる発想をお持ちで、その発想の源を知りたくて、これまで何度も論文を読んできました。

菅原 ありがとうございます！ある現象を見ようと思って、その材料を様々な側面から見ていくうちに興味が膨らんしまい、次々に新しい材料の合成にトライした結果、いろいろな研究が同時進行になっています(笑)。松岡さんと僕らは、扱っている材料は同じでも実験の手法が違いますよね。僕らは分光法なので、やっぱり松岡さんのようにしっかりと電気輸送特性や磁化の測定をしていかないと、評価としては力不足になってしまいます。

松岡 逆に、電気輸送特性や磁化を測定するだけでも足りなくて、分光法など様々な手法の評価をセットで出すことが確たる議論には必要だなあと、私の方でも感

2.5次元物質科学で挑戦する
二層TMDs層間化合物の電子状態観測(菅原)

じています。電気輸送特性を測ったものについて、実際にどのような電子構造を持つてくるかが全然わからず苦労することも多々あって・・・。

菅原 そうですね。予想していた物性が出てない理由は何かを調べる上で、分光法は強いツールです。

松岡 はい。そのため、この領域のように協力しあえる環境が整っていることは大切だなと実感します。

菅原 松岡さんとはいつかコラボレートしたいと以前から思っていて、学会でお会いするとお話ししていました。この2.5次元で一緒にできて、今その機会がようやく実現し、これからがとても楽しみです。

これまで取り組んでこられた研究について
教えてくださいませんか？

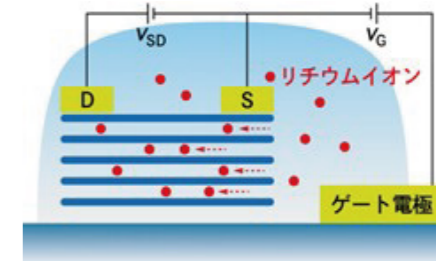
菅原 博士課程ではグラファイトへのインターカレーションを研究していました。カルシウムイオンのインターカレーションにおいて、その超電導転移温度が10Kを超えたため、その起源を電子状態から明らかにするために角度分解光電子分光を用いた研究を行いました。その後、二層グラフェンへのインターカレーションがテーマになり、グラフェンをTMDに置き換えたらという流れで現在の2.5次元に繋がっています。

松岡 私はもともと銅酸化物の研究をしていました。銅酸化物は1つの物質の中に磁性、超伝導、電荷秩序など、色々な物性が詰まっています。一方で二次元物質は、ある物質は磁性体、超伝導体というように比較的明確に分けることができます。そして、それらを重ねて組み合わせるとい掛け算ができ、組み合わせ方によっては説明できないことが起こります。そこに面白さを感じて、博士の頃からは磁性体や超伝導体を作り、それらを重ねたときに起きる現象について研究し始めました。そして現在は、層状物質の掛け算に加えて層間にも何か入れることで変数が3つある掛け算にし、自由度をさらに増やしていこうという発想で研究を進めています。

領域活動の印象と、
今後の展開について教えてください。

菅原 吾郷さん(A01)や松岡さんをはじめ、これまで共同研究したかったけれども機会がなかった方々と一緒に共同研究を行うことができ大変嬉しい思いです。

松岡 私も同じように感じています。それに加えて、幅広い分野の方が集まっているので、研究の進め方やどこ

電気化学的なインターカレーションで
物質を2.5次元的にデザイン(松岡)

に面白さを見出すのかもそれぞれ異なり、刺激を受けています。着眼点や研究スタイルも含めて、先輩方の背中を見て学ばせていただいていると思っています。

菅原 2.5次元領域活動においては、作り手として僕らのところで作った試料を皆さんに提供するだけでなく、皆さんが作っている原子層材料にいろいろインターカレーションをして、電子状態を調べたいというモチベーションもあります。今後、進めていきたい分野は電界効果トランジスタ(FET)などのデバイスを光電子分光で電子状態評価するオペランド分光です。以前からそれに挑戦したいと思っており、その準備を少しずつ進めているところです。知見が足りず、技術的な問題も結構あって、苦労しているのですが・・・。準備ができれば、例えば松岡さんにFETデバイスを作っていただいて評価するなど、そういったことをぜひやりたいと思っています。

松岡 面白いですね！私の方は、何か面白い系を人工的に作りたいというモチベーションがあります。マジックアングルグラフェンの超電導発現の論文で痛感したのですが、誰も想像しなかった面白い系を作りたいです。そのために必要なことの1つに手数を増やすことがあると考えています。色々なバリエーションがあるインターカレーションにおいても、さらにそれ自体を拡張して試していきたいです。もう1つ、最近強く感じているのは、作ったものの評価が大切だということです。面白いものが多分作れたというときに、確かに面白い状態になっているということを主張するためには、評価にも力を入れていかないといけないなど。そのため、この2つの方向にどんどん広げていきたいと思っています。

Interviewees

菅原 克明
東北大学
理学研究科
准教授松岡 秀樹
東京大学
生産技術研究所
特任助教

(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：2025年3月27日)