

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ハイライト研究座談会 2
未来を拓く、ナノ空間の世界

A01班

物質創製班

吾郷 浩樹

九州大学

A02班

集積化班

松本 里香

東京工芸大学

A03班

分析班

Lin Yung-Chang

産業技術総合研究所

A05班

機能創出班

松尾 吉晃

兵庫県立大学

今回はナノ空間に関連したテーマを研究されている先生方にお集まりいただきました。

吾郷 2.5次元領域はそれぞれの専門によって様々な解釈、関わり方が可能です。今回の座談会はナノ空間がテーマということで、層間や空隙に関係が深い皆さんと一緒に振り返っていききたいと思います。

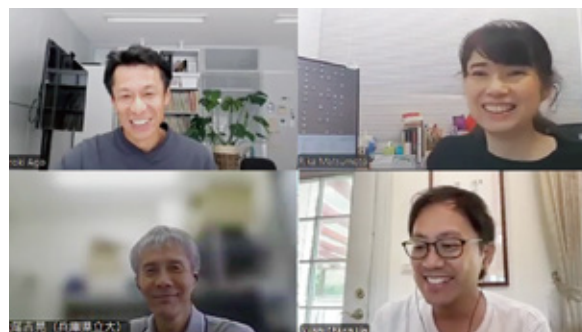
二次元物質の層間に作られる空間は、新たな構造や物性の探索という面で大変興味深いものです。領域がスタートして間もなく、我々が合成する大面積の二層グラフェンへのインターカレーションを松本さんにお願ひしました。これまで扱っていらしたグラファイトに比べて、究極的に薄い二層グラフェンへのインターカレーションに取り組まれて、いかがでしたか？

松本 私はずっとインターカレーションの研究をしてきました。もともとは黒鉛を扱っていましたが、この領域に参加してからは、グラフェンやその他の様々な材料へのインターカレーションを行っています。

吾郷さんの試料に取り組む前は、層の少ない物にはインターカレーションしないという論文を読んでいたので、二層グラフェンには入らないと思っていました。しかし実際に取り組んでみると、逆に二層の方が入るのではないかという結果が得られ驚きました。層間が1つしかないで、そこに入るしかないのかもしれない。

吾郷 柔らかくて広がりやすくなっている？

松本 恐らくそうだと思います。多数の層からくる圧が

ZOOM座談会の様子
(左上から時計回りに、吾郷、松本、Lin、松尾)

少ないことも関係してるかもしれません。

黒鉛では難しかったことが、吾郷さんの二層グラフェンや松尾さんの材料では可能なことが分かるなど、研究の広がりを感じています。これまで見る事ができなかった角度から自身の研究を深められ、今、楽しく色々と進めることができています。

松尾 松本さんが言われたように、この領域で扱っている材料は、層間に物質がたくさん入ったり、様々な構造が出たりと、とても面白いです。実際に社会実装として、僕らがやっている電池との関連も大きいと感じています。僕らは黒鉛を出発物質にした炭素材料について研究しており、ナノ孔と酸素を含んだグラフェンが積層したグラフェンライクグラファイト (GLG) やピラー化炭素などの合成、応用への展開を進めています。これらの炭素材料は蓄電デバイスに使える可能性があり、グラフェン研究との接点からイオンをより多く貯める指針が得られたら面白いと思っています。僕らが研究している炭素材料にもイオンや金属が多く入りますが、それがなぜか明確に分からないこともあります。もう少し何か分かって、実社会に繋げていきたいところです。

吾郷 バルクと二次元の境界を越えていくことは、まだ難しいところですね。

松尾 なかなかそこまで行けず、ちょっともどかしいです。でもグラフェンの研究を拝見していると、積層や薄膜の技術や研究が進んだことにより、どのようなことが可能になってきているかが分かります。そのため、とても心強く感じています。

吾郷 それは嬉しいです。分からないことを解明する手立てとして、Linさんの観察や分析の研究は大きな助けとなっていますね。

Lin ありがとうございます。私のところでは、特別な電子顕微鏡を用いて、様々な2.5次元材料の観察を行っています。使っているのは低加速電子顕微鏡で、これにより従来は観察が困難だった壊れやすい材料の観察が可能になりました。インターカレーションしたもの、ヤヌスやモアレなど、多種多様な材料を皆さんから預かって、観察と分析を行ってきました。

吾郷 領域内において様々な試料をご覧になった中で、これまで知られてこなかった発見がありましたね。

Lin アルカリ金属 (K、Rb、Cs) の二層グラフェンへのインターカレーションを観察したとき、想定外の構造が見られ、とても驚いたことを覚えています。電子顕微鏡で見えているものが何を表しているのかが分からず、層間にアルカリ金属が2層入っていると理解するまでに時間を要しました。これまでは1層しか入っていないと考えられてきたため、2層入っていることは驚きでした(挿図)。そして二次元ナノ空間では、これまで見たことがないことが起きるのではないかと、大変しみな気持ちを持つようになりました。

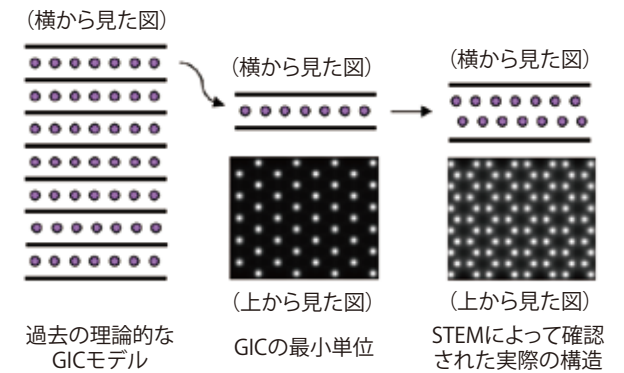
松本 Linさんの電子顕微鏡は本当にすごい力を持っています。自分が作製した試料の原子の並びを実際に目で見てとても驚きましたし、このプロジェクトに入って良かった!と思いました。黒鉛のインターカレーションにはX線回析法が使えますが、二層グラフェンのように薄くなると使えなくなります。逆に薄くなることで電子顕微鏡で効果的に観察できるようになるんですね。

Lin そうですね。層間の研究において2次元や2.5次元物質は非常に適していると感じました。5層以上の多層構造になると、顕微鏡では全ての原子を重ね合わせた画像が得られるため、複雑になり解釈が難しくなります。層が少ない方が構造だけでなく、組成や構成も特定しやすいです。さらに層間は、これまでは難しかった軽元素の観察ができる場なのではないかという期待もあります。グラフェンやhBNで挟むことで観察できるためです。また層間だけでなく空孔も通常では見られない反応の場となりうる可能性があり、ナノ空間のこれからがとても楽しみです。

2.5次元領域で感じたことや、
今後についてお聞かせください。

Lin この領域では、驚き、そしてワクワクするような最先端試料を研究することができました。層状物質の層間や空孔は、二次元ナノ空間でないと起こらないような反応の場になっている可能性があり、通常では見ることができないものを見ることができるのではないかと今後も期待しています。

吾郷 私のところでは色々なことを進めています。大きくまとめると、CVD法で作ったものを使って新しい材料を作りたいと思っています。試みの1つとしてはLinさんが挙げていたように、ナノ空間だからこそ可能となる、hBNの上に物を乗せて挟んで反応させるというものがあ



黒鉛の理論的なモデルと実際に二層で確認された構造

ります。普通では作れないものを2.5次元を利用してきれいに作れたらとても面白いし、ユニークだなと思っています。

松本 この領域内共同研究の中で、黒鉛では入らなかったものが、二層や数層のグラフェン、松尾さんのGLGには入るということが分かりました。これまでの研究で扱っていなかった材料へのインターカレーションを、ここで試すことができたのは大きいと感じています。しかしインターカレーションのリクエストをいただいた他の材料について結論が出ていないものもあり、試行錯誤しながら今も続けているところです。今後もこのプロジェクトで得られたネットワークを活用しながら、進めていけたらいいと思います。

松尾 僕らのところでは、層状物質の層間に空間を作る研究を行ってきました。現在は電池の材料としてそれをうまく使えたらいいなと思っています。そのためイオンが過ごしやすいナノ空間を作っていくことが一番の目標で、それを実際に応用できたら一番嬉しいです。この領域でグラフェンや炭素材料に関する研究を進めて得られた結果を活かし、これからもよい材料を多く作ることを目指していきたいです。またこの領域では、これまで少し遠いと感じていた物理分野の方々とも一緒に研究を進めることで、分からないことや分かっていることを整理する貴重な機会となりました。

松本 私も化学がベースなので、どちらかという実践を多く行っています。物理系の方とお話する中でメカニズムについて質問を受け、明確にお答えできないこともあり、そこは今後強化していきたいと思いました。その一方で、実際に手を動かして何度も試行する中で分かってくることもあり、その部分も大切にしたいですね。何が効いているのかよく分からないけれども、数をこなしていくうちに分かることも多いなと体感しています。実験を行う人と理論の人、片方だけではなく、連携していくことで前に進むことができると改めて実感しました。

吾郷 この領域ではBoundary (境界) をテーマとしているので、分野の境界を越えて連携していこうというお話が伺えて嬉しかったです。次回の領域会議が最終回となりますが、今後もこのネットワークを大切に、世界をリードする研究を進めていきたいですね。

(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9月29日)