

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

# 2.5次元物質科学の始動

領域代表

2.5次元物質科学の総括  
(総括班・A01班)

## 吾郷 浩樹

九州大学  
グローバルイノベーションセンター

始めに、この研究領域がスタートした経緯をお聞かせください。

吾郷 私が研究しているのは、「物質科学」という学問分野なのですが、これは優れた物性や機能をもつ物質を作り出し、そのサイエンスを理解することを目的としています。

近年、二次元物質と呼ばれる物質群が極めてユニークな性質を示し、IoTを中心とする幅広い応用が期待されるようになってきました。これを私たちは「2.5次元物質」という新しいコンセプトで研究を展開し、新たな学問分野を作りたいと考えました。そこで、材料、物理、化学、分析、工学など様々な分野の研究者でチームを作って学術変革領域研究(A)に申請し、2021年9月に採択されて本領域をスタートすることになりました。

「2.5次元物質」とは、どういうものなのでしょうか。

吾郷 元はと言えば、「二次元物質」の物性や電子状態、合成法などがとても興味深く、応用の面でも大きなポテンシャルをもっている、という考えから始まった話になるのですが……

黒鉛の元になっているグラフェンのようなもののことでしょうか？

吾郷 その通りです。鉛筆の芯にも使われている黒鉛は、炭素原子の六員環が面状につながった二次元のシートがたくさん積み重なったもので、それを一枚だけ取り出したのがグラフェンです。グラフェンの他にも多くの種類の原子レベルの厚みのシートがあって、これらを総称して「二次元物質」(英語では2D materials)と呼んでいます。



その「二次元物質」が脚光を浴びている理由は、何になるのでしょうか。

吾郷 例えばグラフェンは、通常の物質では考えられないような変わった電子構造をもっていて、原子1個分の厚みしかない究極的に薄いシートにもかかわらず、その中を移動する電子が物質中で最高の速さ(キャリア移動度)を示して大きな注目を集めました。その後、様々な原子から構成される「二次元物質」の研究が進められ、次世代半導体や各種センサー、フレキシブルデバイス、大容量バッテリーなどに応用できると期待されるようになったのです。

最近では、半導体に加え、超伝導体、強磁性体、トポロジカル絶縁体といった様々な特性を示す「二次元物質」が作られ、世界中で活発に研究が行われています。

でも今回は「二次元」ではなく「2.5次元」なのですね。

吾郷 「二次元物質」それ自体も大変興味深いことには変わりはないのですが、二次元物質同士を重ね合わせたり、つなげたり、ひねったりすること(私たちは「切る・貼る・ひねる」と呼んだりしています(笑))や、重なった二次元物質の間のできる空間を舞台として新しい材料科学のサイエンスが広がり、将来的な応用にもつながる、そう考え、これを「2.5次元物質」と名付けました。

重ね合わせる、ですか。

吾郷 ええ。グラフェンを例として説明すると、グラフェンは単体ではバンドギャップのない金属に近い性質を示しますが、二枚のグラフェンの向きを揃えて重ねると、電子構造が変化して半導体に変化させることができます。さらに、積層角度をたった1°ずらして重ねることで、超伝導状態を示すようになります。また、二枚の原子シート同士、角度をつけて重ねるとモアレと呼ばれる長距離の秩序構造が表れて、非常にユニークな物性を示します。

このように、1+1が2ではなく、3にも10にも、あるいはAやBのように全く異なる特徴を示すようになることから、非常に大きな広がりが生まれてきます。

それからですね、これまで物質は化学結合や物理成長(薄膜のエピタキシャル成長など)を制御して作られてきました。しかし、本領域では二次元物質の間に働く非常に弱いファンデルワールス力を人工的に制御するというアイデアを活用していきます。このようなファンデルワールス力を自在に制御したモノづくりは、物質科学に大きなパラダイムシフトをもたらすものと期待しています。

確かに、ファンデルワールス力に着目した合成方法は、あまり聞いたことがありませんね。共有結合の1/100程度の強さしかないと言われていた力が、それほどまでに大きな影響を及ぼすとは、驚きです。

吾郷 近年、二次元物質の操作技術が進展し、人為的にコントロールしながら二次元物質を重ねることができるようになってきました。

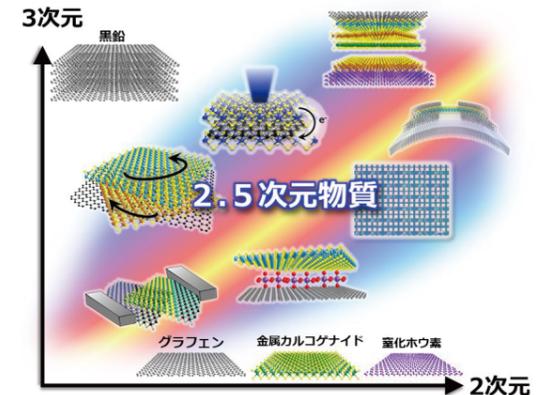
本領域では、こういった技術を駆使して様々な組成や角度で積層した「新物質」を作り出していこうと考えています。これまで誰もできていなかったファンデルワールス力を制御した物質合成ですので、あっと驚くような性質をもつ「新物質」が生まれるのではないのでしょうか。

さらに重なった層と層の間には、二次元的に広がったナノ空間が存在しています。そこに分子やイオンを挿入することで、三次元の世界では見られない新たな構造が得られるのです。ここから新物質の創出や新物性の発現などにつながることを期待しており、この方向性の研究を進めていきたいと考えています。

なるほど。だからこそ「2.5次元」なのですね。

吾郷 はい。二次元物質がもつ集積の仕方の自由度や二次元のナノ空間、そしてそれだけに留まらない可能性や広がり、私たちは「0.5次元」と象徴的に表現し、「2.5次元物質」科学として総合的に研究していこうという思いを込めて領域名としました。

ちなみに、このキーワードはポップカルチャーの分野でも近ごろ使われている言葉でもあります。こちらはアニメをミュージカルで演じるなど三次元(リアルな人間)と二次元(映像作品)を結びつけるものだとか。私たちはこの研究を通じて実際の社会(三次元)にも貢献していきたい、そういう意味合いも込めています。



この研究領域は、実に多くの研究者の方々が参加されていていらっしゃいます。それぞれどういった研究をされていていらっしゃるか、軽くご説明いただけますか？

吾郷 この領域は、第一線で活躍している研究者が集まって、物質創製、集積構造の作製、分析技術の開発、新奇物性の開拓、電子・光・エネルギーへの応用、という5つのグループで研究します。これらのグループが「2.5次元物質」を合言葉に有機的に連携して、分野融合的な共同研究を展開していきます。

お互いの強みを持ち寄って、オールジャパンの体制で新しい研究シーズを生み出すとともに、日本発の学問分野を拓いていきたいと考えています。また、これら5つのグループに加えて、総括班と呼ぶマネジメントチームも組織して、海外連携、産学連携、若手支援、広報、アウトリーチ活動などを推進する予定です。

最後に、皆様にメッセージをお願いします。

吾郷 昨今の新型コロナウイルスの影響で、オンラインでのコミュニケーションが世界中で行われるようになり、今まさに社会構造そのものも二次元と三次元が融合しつつあります。

物質科学の分野においても、「2.5次元物質」という新たなコンセプトで、科学のフロンティアを切り開いていくとともに、次世代につながるデバイスやエネルギーなどへの応用研究を通じて、これからの社会に貢献していきたいと考えています。

皆さまの期待に沿えるよう、メンバー全員で頑張っていきますので、どうぞよろしくお祈りします。



吾郷 浩樹  
九州大学  
グローバルイノベーションセンター  
主幹教授

領域ホームページ <https://25d-materials.jp>