

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 5

A01班

物質創製班 公募班

(水素結合でネットワーク化した2次元有機結晶の積層による2.5次元物質創成)

久木 一郎

先生方がこれまで進めてきた研究と、公募班へのご応募の理由を教えてくださいませんか？

北浦 院生までさかのぼると、現在と全然違う分野にいました。そのため当時の知り合いに会うと、全然変わったねってとても驚かれます。その頃は今でいう多孔性配位高分子(PCP^{*1}/MOF^{*2})の錯体、多孔性材料系統の研究をしていました。ドクター取得後は企業に入りましたが、その後アカデミックに戻るとき、たまたまカーボンナノチューブを扱っている研究室の助手になり、この世界に入ったのです。カーボンナノチューブ中心に研究するようになってからは、学生時代から出る学会もガラッと変わり、一次元の材料を中心にやってきたところ、グラフェンという二次元のものがでてきて。自然とそちらにも興味を移していき、この2.5次元に繋がりました。

久木 私のほうは、学生時代は構造有機化学という、いかにヘンテコな分子、ヘンテコな電子状態を持つような分子を作るか、ということを楽しんでいました。アセチレンを3つ繋げたポリインを曲げることや、 π 共役電子を持つ分子系にこだわって研究をしていました。大学のポストについては同じ有機分子の分野で、どのように分子を集めると機能が出るか、あるいは単純に結晶なので、有機分子が規則的な構造で並んだだけでも美しいなという観点から研究を進め、今に至っています。有機分子を弱い相互作用で配列させることで、二次元プラスアルファにあたる2.5次元ができればと考え、応募しました。

現在の研究内容、2.5次元的ポイントは？

北浦 我々のところでは、金属化学気相成長法を二次元系に適用する研究を少し前から進めています。装置開発も行い、その結果これまでにないくらい

A02班

集積化班 公募班

(1.5次元から2.5次元への展開に基づく新物質群創出)

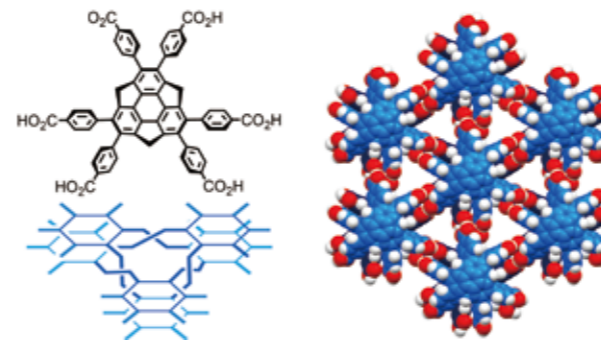
北浦 良

正確に、二次元結晶を繋ぎ合わせることが可能になりました。異なる種類の結晶(例えばWS₂とMoS₂)を、ナノスケールで幅を制御しながら、きれいな界面で接合します。一見、構造体としては二次元ですが、その中に多数の一次元の接合界面がある状態です。このつぎはぎの板だけでも非常に面白いのですが、二次元同士を重ねたり、間に棒を挟んで一次元と二次元の混合次元系を試したり、そこに出現する新しい機能や物性が非常に面白く、このようなことが2.5次元的だと思っています。

2.5次元的って、“.5”の解釈が人によって様々で、逆にそれが良いですね。この公募研究で申請したテーマでは、ただの二次元じゃないってところが“.5”になるという考えです。二次元と二次元をきれいに繋いだ構造体を作っているの、様々な方と協力してさらに開拓していきたい。そしてただの二次元1枚ではできない接合、積層、界面を中に持つものを作って、新しい物を生み出していきたい。それが私なりのアプローチです。

久木 今私が進めている研究は、 π 共有系有機分子を二次元に並べることです。二次元だけでなく三次元でも、配列を制御するために可逆性のある水素結合を使って、分子を自己集合させた構造体を作っています。水素結合やファンデルワールス結合は指向性があまりないので、これまでは分子配列がどのようになるか分子構造から予想できませんでしたが、カルボン酸の2量体のような、結合に指向性がある水素結合モチーフを使うことで、比較的簡単にデザインできるようになってきました。

また他にも、北浦さんが昔研究していた多孔質構造について積極的に進めています。特定のガスを吸着する、二酸化炭素吸着してその場で反応させる、構造が似ている分子を分離するなどができる多孔質材料は、省エネルギーの点からニーズがあるものです。そのような観点から多孔質フレームワークを構築し、複合機能性HOF^{*3}の開発を行っています。



水素結合でネットワーク化した有機二次元結晶(久木)

ギーの点からニーズがあるものです。そのような観点から多孔質フレームワークを構築し、複合機能性HOF^{*3}の開発を行っています。

2.5次元としては、まず二次元構造をした平面分子の外側に水素結合基を作り、タバストリーのように二次元構造をデザインする。それを用いて、シート上に物理的な穴を作ることや、ゲスト分子が選択的に入ったようなものを考えています。他にも層間レイヤーを作り、そこに何かインターカレートすることも可能かと思っています。

ただ水素結合やファンデルワールス結合の最大の弱点は、剥離したときにきれいな層として単離できないこと。そこで、どのように自立した膜を剥離するかが今回の課題の1つです。具体的には1層で作ると弱いので2層で作る、水素結合の数を増やしてできるだけ強固にするなど、そんな方法で何とかトライしたいと考えています。

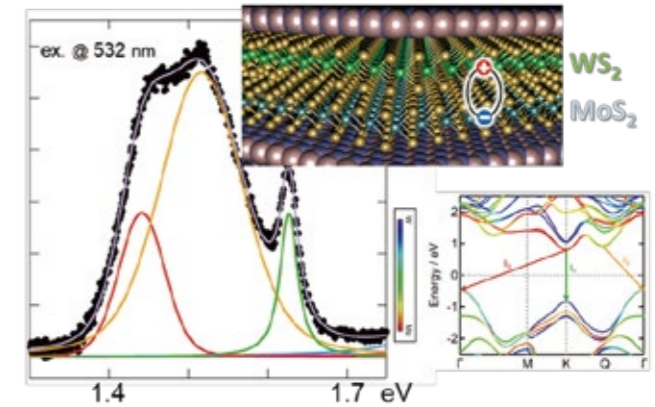
領域での共同研究について教えてください。

北浦 岡田さん(A01)とは新しい二次元構造体の電子状態の計算に関して、光物性関係では町田さん(A02)のところと、宮田さん(A02)ともいろいろな細かいテーマで共同研究しています。

久木 櫻井さん(A01)の分子を使って結晶光学的に自己集合体を作っていく研究、岡田さん(A01)が計算化学の観点から提案するネットワーク構造を、実際に分子集合を利用して作っていくことなど進行中です。率直な感想としては、共同研究の難しさを感じています。ただその中から何を生み出すことができるか、全然違う発想で何か生まれるんじゃないかと。そのため今回北浦さんのお話を伺う中で、実際に無理やり一緒にやるとしたら何ができるのかという観点でお聞きしていました。ですが、なかなか難しいですね(笑)

北浦 確かに(笑)でも領域の活動でご縁がなかったらお話する機会がなかったと思うので、活かしていきたいですね。

久木 北浦さんはとてもきれいな接合界面を作る技術をお持ちなので、その上に複数の分子を乗せると、その面によって選択性が出てくるのか、同じ分子でも下の層によって界面部分に特徴的な電子状態がみられたりするかななど、考えながらお話し伺っていました。



2.5次元ヘテロ接合の電子状態(北浦)

北浦 そうですね、分子を二次元に乗せると面白いことが見れそうですね。分子はチューニングできるところが魅力的なので、二次元を土台にして分子を発光センターのように並べて、しかも状態はコントロールできるようにすると面白いなと思いました。

領域の皆様へメッセージをお願いします。

北浦 他では作れない接合体、二次元でもただの二次元じゃない、そこが“.5”に繋がる可能性があるところだと思います。それを自分1人でやるのではなく、様々な計測技術、理論を取り入れ、メンバーの方々と議論しながら、“.5”を形として残せるよう一杯頑張りたいです。

久木 私のほうは異世界からやってきたというイメージで、荒唐無稽な発想もあるかもしれません。しかし、それが化けるかもしれない。周囲の方々からいただく刺激で世界を広げながら、無から“.5”を生み出せるような、そんな組み合わせを探していきたいと思っています。

用語説明

*1 PCP: Porous coordination polymer (多孔性配位高分子)

*2 MOF: Metal-organic framework (金属-有機構造体)

*3 HOF: Hydrogen-bonded organic framework (水素結合性有機構造体)

久木 一郎
大阪大学
基礎工学研究科
教授北浦 良
物質・材料研究機構
ナノアーキテクトニクス
材料研究センター
2次元系量子材料グループ
グループリーダー

(活動班順、五十音順 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：2023年10月3日)