

M AIMR Magazine

Advanced Institute for Materials Research

06
January 2015

Shigemi Mizukami

水上成美
東北大学原子分子材料科学
高等研究機構(AIMR) 教授



Katsuaki Sugawara

菅原克明
東北大学原子分子材料科学
高等研究機構(AIMR) 助教



Ken Nakajima

中嶋 健
東北大学原子分子材料科学
高等研究機構(AIMR) 准教授



「巻頭インタビュー」

仙台から世界へ。

from SENDAI to the WORLD

M AIMR Magazine
Advanced Institute for Materials Research
AIMRマガジン 2015年1月号

東北大学原子分子材料科学高等研究機構 広報・アウトリーチオフィス
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
Tel. 022-217-6146 Mail. outreach@wpi-aimr.tohoku.ac.jp
<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/>
<https://www.facebook.com/TohokuUniversity.AIMR>



[特集]
ジグザグ型グラフェンナノリボンの作り方
未来のエレクトロニクス材料「グラフェン」の実用化を目指して

[AIMR in the world]
Tomasz Dietl
被引用数5,000回の論文が生まれるまで

仙台から世界へ。

from SENDAI *to* ^{the} WORLD

AIMRに所属する研究者は、その半数が海外出身者で占められており、出身地も卒業した大学もさまざま。それは半数を占める日本人研究者も同様で、全国各地から優秀な研究者が集まっています。そんな中、地元仙台の高校を卒業し、今もまた仙台の地で、世界中の研究者を相手に、時に協力し、時に競争しながら研究を行っている研究者がいます。彼らは、どんな中高時代を過ごし、どうして研究者になったのでしょうか。彼らにとって研究するとはどんなことなのでしょう。今回は、仙台市立富沢中学校の3名の生徒を編集部に迎え、地元仙台の先輩達を相手にインタビューを行ってもらいました。彼らの目に、研究者がどのように写ったのか、ぜひお楽しみください。

*本インタビューは、仙台市教育委員会が実施する中学生職場体験活動の一環として行われました。

研究がない人生を 想像できない

スピンポンピング効果を発見したバイオニアの一人であり、現在のスピントロニクス発展に大きく貢献している水上成美教授。これまで一貫してスピンの高速ダイナミクスの観点から、スピントロニクス新材料とデバイスの開発を行う水上教授に、研究が自分自身に与えた影響などを語っていただきました。

Shigemi Mizukami

水上成美

東北大学原子分子材料科学高等研究機構(AIMR) 教授

profile

1973年宮城県生まれ。仙台第三高等学校出身。東北大学大学院工学研究科で博士号を取得後、日本大学工学部講師などを経て、2008年より原子分子材料科学高等研究機構助教。2011年同准教授、2014年より同教授。日本磁気学会優秀研究賞などを受賞。



—水上先生は具体的にどのような研究をなさっているのか教えてください。

専門は応用物理学という領域のなかのスピントロニクスという分野です。応用物理学というのは、物理学を応用してどのように世の中の役に立つ仕事をするかというものです。主に磁石を使った研究で、磁石を小さくしてパソコンや携帯電話などのメモリーに使うための方法などを研究しています。

—研究者になってよかったと思うこと、また研究をやめたいと思うのはどんなときか教えてください。

良かったと思うことはたくさんあります。中でも、だれも知らないことを世界で初めて知る喜びは、研究者が共通して思うことだと思います。ただ、人間ですから実験が思うようにいかないときなどはやめてしまいたいと思うことはあります。また、研究者はそれぞれ朝から夜遅くまで仕事をしていて、本人はよくとも、家族には寂しい思いをさせています。だから、やめたほうがいいかなと思うこともあります。それでも家族に支えられ研究を続けています。

—研究とは水上先生にとってどのようなものなのか、また研究が先生へ与えた影響について教えてください。

あらためて考えてみたことがないので、どういけばいいかわかりませんが、今では、研究がない人生というものを想像することができません。

研究内容が自然科学や応用に近いので、自分の価値観は変わることはないと思います。ただ、冷蔵庫についているようななんの変哲もない磁石が世界を変える可能性を秘めているように、これまでとは違う新しいものの見方や考え方を得るということは常にあります。

—あこがれている人はいらっしゃいますか？

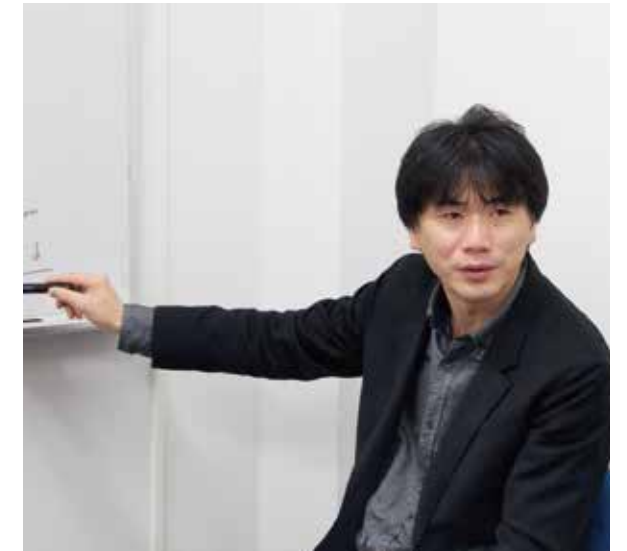
学生のころ本を読むのが好きで、「量子力学」という学問を作ったドイツの物理学者のひとりのハイゼンベルクという人の自伝を読み、こうなりたいなあこがれていました。自伝では「科学者の仕事」の他にも日常生活のことなども知ることができるので、興味があれば読んでみてください。

今はもう年をとっているんで、あこがれというのはあまりないですが、人生の節目でお世話になった先生方を大変尊敬しています。

—中学生が自由研究の際に、うまく研究をするコツなどがありましたら教えてください。

大切なのは「テーマ」だと思います。研究のおおよそはテーマで決まる、というくらいですから「テーマ」としてどこに疑問を

持つかが大事になってくると思います。その疑問が素朴なものほど、意外にも誰も知らなかったりします。例えば、他の人がみな当たり前だと思っていることに目をつけてみるといいかもしれません。そして、いかに人と違うことを考えられるか、ということがとても大切です。



—中高生のころ経験したことで今に活かされていること、またもっとやっておけばよかったと感じることを教えてください。

中高共に運動部だったのですが、やっておいてよかったなと思います。なぜなら、粘り強さや体力、根性などを学んだので、ここぞというときに踏ん張りがきくからです。体力などは、研究にも必要になりますので。

やっておけばよかったことは、文科系の活動ですかね。特に楽器などの芸術的なものを学んでおけば、と思うときはあります。研究の役に立つような創造性が学べていたと思います。やはり「文武両道」というのは大事なんだと思います。

—今の中高生に対して思うこと、伝えたいことを教えてください。

中高生らしく勉強やスポーツ、文化活動などを楽しみ、まずは青春を謳歌してください。みなさんは、たくさんの可能性を秘めているわけですから、様々なことに触れることが大切だと思います。あえて補足するなら、英語は学んでおけば役に立つと思いますし、高校からは政治や経済等の社会情勢にも目を向けるといいと思います。そうしていった上で、研究者にあこがれ研究を志す時が来れば、おのずと道は開けると思います。

取材=成瀬昌範、牧野桃子
文=成瀬昌範
写真=西城向日英(04頁)

人と人との 出会いを大切に

原子間力顕微鏡で高分子をつり上げて測定する"ナノフィッシング"技術。この技術を用いてナノスケールでの物性評価を行い、数多くの企業から共同研究を依頼されるなど、高い技術と解析力を持つ中嶋准教授に、今の中高生に伝えたいことなどを語っていただきました。

Ken Nakajima

中嶋 健

東北大学原子分子材料科学高等研究機構(AIMR) 准教授

profile

1969年宮城県生まれ。仙台第一高等学校出身。東京大学大学院工学系研究科で博士号を取得後、東京工業大学助教などを経て、2008年より現職。日本表面科学会技術賞、日本ゴム協会CERI若手奨励賞などを受賞。

—中嶋先生は具体的にはどのような研究をなさっているのですか。

ゴム、プラスチック、繊維などの高分子の研究をしています。例えばゴムの研究では、東日本大震災のときに使われた免震ゴムの基礎になる研究です。プラスチックだと、最近では航空機材料に使われる繊維強化プラスチックの基礎研究をしています。

—中嶋先生は、なぜこの分野の研究者になろうと思ったのですか。

もともと科学者になりたいという思いがありました。そして高校生のときに出会った物理の先生の影響を受け、物理の世界に進みたいと思いはじめました。その先生の、幾つになっても勉強し続ける姿勢に惹かれました。先生は六十歳ぐらいでしたが、自ら本を買って最先端の科学を勉強されていました。そのとき先生のノートを見せていただいて、「自分もこんな風になりたい」と思ったのが、研究者を志すきっかけですね。

—研究者になって良かったことはありますか。反対に、やめてしまいたいと思ったことはありますか。

良かったと思うことは三つあります。一つは研究の成果が社会の役に立つことです。それを実感できたときは本当に嬉しいです。もう一つは、会社との共同研究の際に自分たちの研究内容が反映されているときです。また、外国の方々とながらつながりを持つダイナミックな生き様も、研究者の魅力の一つですね。やめてしまいたいと思ったことは、一度もありません。私たちは本当に好きなことを仕事にしていますから。

—中嶋先生にとって「研究」とはどれくらい大切なことですか。また研究者になる前と後で先生の中で変わったことはありますか。

自分にとって、研究が人生のすべてであるというわけではありません。しかし、自分の研究が社会に貢献し、人の役に立つことは、人生で最高の栄誉になります。だからとても大切です。また研究者になってからは、世の中を見る視野が広がったと思います。さらに、世界中の研究者と話し合い、時に競い合いながら研究を進めていますので、国際的な交流を持つことで世界がぐっと近くに感じるようになりました。

—中学生が自由研究などの際に、うまく研究をするコツなどがありましたら、教えてください。

どんなに分かり切っていることでも、調べてみるという姿勢が大切だと思います。自分にとって新しい情報、知識が増えることは、とても良いと思います。今の世の中、調べる方法はたくさんあります。ですから、一つの情報だけを鵜呑みにしないでいろいろな角度から知識を吸収すること。これが大切です。

—中高生のころ経験したことで、いま生かされていると感じること、逆にもっとやっておけばよかったと思うことはありますか。高校生までは、分野にかぎらず勉強したほうが良いと思います。例えば、世界史を多く知っていれば、外国の方とそれを元に会話することができます。ですから、「自分はこの分野だから」と早い段階で決めつけてしまうのはよくないと思います。まんべんなく、様々なことを理解することは必要ですね。外国の文化を知っておくのもとても大切です。



—今の中高生に対して思うこと、伝えたいことについて教えてください。

ネットなどではなく、面と向かい合う人と人との出会いを大切にしていってほしいと思います。「六次の隔たり」という言葉がありますが、これは知り合いの知り合いをたどっていくと六つ先で世界中の人と繋がることができるというものです。そういった世界で生活していると理解するだけで、もの見方が変わってきますよね。ですから、人と人との繋がりは大事にしていってください。

取材=西城向日葵、成瀬昌範
文=西城向日葵
写真=牧野桃子(06頁)

周囲に支えられて 今の自分がある

鉛筆の芯にも使われるグラファイトを原子一層まで薄くした「グラフェン」は、次世代の高機能デバイスとしての応用の観点から大きな注目を集めています。世界最高の分解能を誇る「超高分解能角度分解光電子分光装置」を駆使して、グラフェンの物性解明を行っている菅原助教に、研究者になってよかったことなどを語っていただきました。

Katsuaki Sugawara

菅原克明

東北大学原子分子材料科学高等研究機構 (AIMR) 助教

profile

1981年宮城県仙台市生まれ。仙台第三高等学校出身。東北大学大学院理学研究科で博士号を取得後、原子分子材料科学高等研究機構助手を経て、2010年より現職。原田研究奨励賞、ATI研究奨励賞、第9回日本物理学会若手奨励賞を受賞。

—菅原先生は現在、どのような研究をなさっているのですか。
主に物質の電子の状態を見る研究をしています。具体的には、金属などの材料に紫外光という光を照射すると、その物質がエネルギーを受けとり、電子が外に放出されるので、この電子の状態を見る研究をしています。原子層の厚さしか持たないグラフェンの電子状態や、物質の電気抵抗が完全なくなる超伝導についても研究しています。超伝導の研究はとても競争が激しく、ライバルが多いのですが、いろいろな人に支えられながら、どこにも負けない研究がしたいと思っています。

—なぜ研究者になろうと思ったのですか。また研究をする上で大切なことは何ですか。

初めは、何か自分が生きた証みたいなのを残したいと思っていました。そんな中、研究論文を発表することが出来れば名前が残せると学部生の時に思い(研究職に進む理由としては良くないかもしれませんが)、大学院では、今所属している高橋教授の研究室に進みました。そこで行われていた超伝導や巨大磁気抵抗効果など様々な物の性質の起源を光電子分光で明らかにする研究が面白いと感じ、また、もっと人の役に立つことができるのではないかと感じるようになって、研究者の道に進みました。研究には失敗がつきものです。失敗の中から成功のもとを見つけることができるかどうか大切です。

—研究者になってよかったと感じることは何ですか。また、やめてしまいたいと思ったことはありますか。良かったと思うことは、先生や学生さんなど周囲の方々から支えられていると感じられることです。きっと一人だったら、失敗やトラブルに潰されていたと思います。

やめてしまいたいと思ったことは多々あります。実験や研究の成果が良くなかったりすると研究者に向いていないと今でも感じるがありますが、周囲の方々のおかげで続けることができます。今はやめなくてよかったと感じています。

—外国の方と英語でお話しなさる際、使っている英語が正しいか不安になることはありますか。自分が話している英語が正しいのか、不安になることは多々あります。でもコミュニケーションは身ぶり手ぶりなどで伝えることができるので何とでもなります。ですから私は、話している英語が正しいか、あまり気にしないようにしています。単語だけ言っても相手が汲み取ってくれることもありますしね。いつも「伝わればいいや」と思っているのです。

—中学生が自由研究などの際に、うまく研究するコツなどがありましたら教えてください。

本などに答えが書いてあったとしても、興味や疑問を持ったことについて「それって本当に正しいのか」と考えて、自分でしっかり確認することが大切です。そのプロセスから違う視点でもものが見えてくることがあるからです。当たり前だと思っていることでも実際に自分でやってみることが大事だと思います。

—中高生のころ経験して、いま生かされていることは何ですか。また、もっとやっておけばよかったと思うことはありますか。

中学生と大学生のころ運動部に所属していたので、体力や忍耐力がついたと感じています。研究は立ち仕事だったり、失敗が続いたりするのでこの2つは意外に重要です。また、もっとやっておけばよかったと思うことはたくさんありますが、勉強面では全教科です。特に英語などの語学や、外国の方と話す際の話の広がりが必要なので歴史などが大切だと感じています。歴史については「こうなった」という結果だけですませないで、その背景も勉強すればよかったと思っています。

—今の中高生に対して思うこと、伝えたいことを教えてください。周りに流されずに自分の道を自分で考えて決めることが必要だと思います。また、将来どんな職に就くとしても、「なぜそれがしたいのか」という「理由」を大事にしてください。



取材=牧野桃子、西城向日英
文=牧野桃子
写真=成瀬昌範(08頁)



牧野桃子 さん

この職場体験全体を通して感じたことは、「将来進む道は自分でしっかり考える」ということです。今回インタビューさせていただいた三人の先生方は皆、「職業は研究者だけではない」とおっしゃっていました。これは、広い視野で世界を見ると共に、物事を決めるときには明確な理由を言えることが大切だと思っています。

AIMRの広報誌作成に携わって、「第三者になって振り返る」ことを学びました。自分で書いた文は自分の中では完璧だと思っても、他の人がその文を読むとよく分からなかったり、前後のまとまり、流れが出来ていなかったりと、欠点があることに気づきます。

これからは何事も第三者になったつもりで自分を見ることができたら良いと思っています。

僕は、この職場を選択して本当によかったと思います。理由はたくさんありますが、特によかったと思ったことは2つあります。1つ目は将来の夢である研究者の方々に会って様々な話を聞くことができたことです。研究職につくことの楽しさやつらさなどが分かりました。2つ目は、広報の仕事をする上での注意点などが学べたことです。



成瀬昌範 さん

広報と一口で言っても、対象者によって方法を変えることが分かりました。ここで学んだことや、手に入れた知識を、これからの学校生活に活かしていきたいです。そして、将来は研究者になって、AIMRのような研究機関で働きたいです。



西城向日葵 さん

私は第一希望で、このAIMRの広報部に来ました。好奇心だけで選んでしまったので、「材料科学」の意味もよくわかりませんでした。その後の菅原先生、水上先生、中嶋先生のインタビューを経て、材料科学は私たちの生活に密接していてとてもおもしろい分野であることがわかりました。先生方のインタビューはとても素晴らしく、メモを取るのを忘れて聞き入ってしまうこともありました。

自分が住んでいる仙台に、こんなに素晴らしい場所があるなんて知りませんでした。もっとたくさんの人に、AIMRのことを知ってもらいたいと思います。今回その広報作業に携わることができて、本当に嬉しかったです。学んだこと、感じたことをすべて学校に持ち帰って皆に伝えたいです。

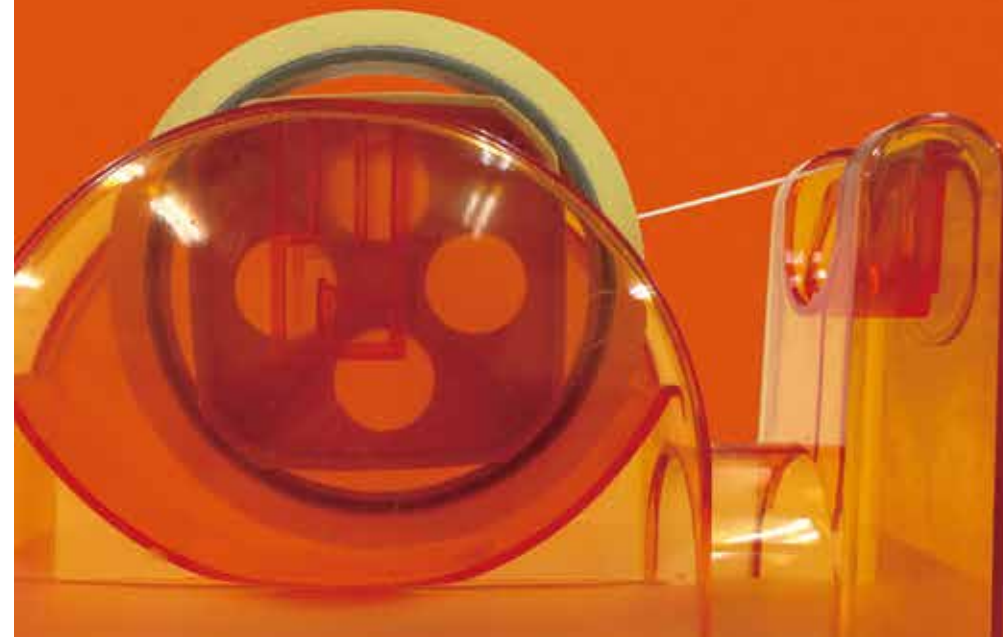
INDEX

- 01 巻頭インタビュー
水上成美／中嶋健／菅原克明
「仙台から世界へ。」
取材：牧野桃子、成瀬昌範、西城向日葵
(仙台市立富沢中学校)
- 10 特集
ジグザグ型グラフェンナノリボンの作り方
未来のエレクトロニクス材料「グラフェン」の実用化を目指して
- 12 NEWS & INFORMATION
-台湾国立交通大学と
ジョイントワークショップを開催
-ERATO磯部プロジェクト実験施設
グッドデザイン賞受賞
- 13 AIMR in the world
Tomasz Dietl
被引用数5,000回の論文が
生まれるまで
- 16 EVENT REPORT
-第6回AIMR-SSH
国際交流プログラム開催
-第4回WPI合同シンポジウムに出展
- 17 材料科学コラム
「ちょっと寄り道 MATERIALS」第6話
- 18 New Staff
井上 和俊

Editor
中道康文
Design/Printing
株式会社 島山デザイン事務所
produced by
東北大学原子分子材料科学高等研究機構
広報・アウトリーチオフィス

ジグザグ型グラフェン ナノリボンの作り方

未来のエレクトロニクス材料「グラフェン」の実用化を目指して



東北大学原子分子材料科学高等研究機構
准教授

一杉太郎 = 文

鉛筆の芯とセロテープでノーベル賞!?

「鉛筆の芯とダイヤモンドは、どちらも炭素原子でできた結晶である」という話は、皆さんどこかで聞いたことがあるのではないだろうか。確かに両者とも炭素でできているが、結合の仕方(結晶構造)が違ふことで、見た目も性質も大きく異なっている。ダイヤモンドは、その名もダイヤモンド構造とよばれる3次元の規則正しい構造でできており、透明で硬い性質を持つ。一方、鉛筆の芯に使われている炭素材料はグラファイトと呼ばれ、炭素原子が蜂の巣上に並んだ層が、幾重にも重なった構造を持つ(図1)。

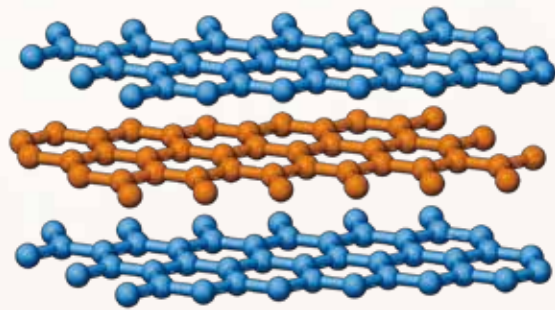


図1: グラファイトの構造

鉛筆の芯とダイヤモンド、同じ大きさだったらどちらが欲しいか、と言われれば、多くの人がダイヤモンドを選ぶのではないだろうか。現在での金銭的価値は、ダイヤモンドの方が大きく上回っており、なにより美しいので、それも当然だろう。しかし、一見値段のあまり高くなさそうな黒い塊のグラファイトには、実は世の中を大きく変える可能性が秘められている。

その可能性を示した研究は、グラファイトとセロテープを使って行われた。グラファイトは、先述のように炭素原子が蜂の巣上に並んで、それが何層にも重なってできているが、そのうちの1層だけを取り出した物質をグラフェンと呼ぶ。グラフェンは、電子の移動速度が速いなど、多くの興味深い性質をもつことが予想されていたが、グラファイトからきれいに1層だけのはがす技術がなく、その性質を確かめることが長い間できなかった。ところが2004年、物理学者のアンドレ・ガイム博士は、グラファイトにセロテープを貼ってはがすことで、きれいな原子1層のグラフェンを作製することに成功した。これを契機に、グラフェンの研究が爆発的に進み、電子移動度や熱伝導率が非常に高いことが確かめられるなど、その驚くべき性質が次々と明らかになった。そして2010年、グラフェンのサンプル作製からわずか6年で、アンドレ・ガイム博士とその弟子のコンスタンチン・ノボセロフ博士は、「二次元物質グラフェンに関する革新的な実験」によって、ノーベル物理学賞を受賞した。

エッジの違いが重要

グラフェンは、短期間のうちに、なぜこれほどまで爆発的に研究が進んだのだろうか。それはグラフェンが持つ特異な性質にある。グラフェンは、原子1層でできているため非常に薄く軽いにも関わらず、非常に強靱で、それでいて加工しやすいといった特徴をもつ。さらに、電子移動度が非常に高いため、高速かつ消費電力の低い次世代のコンピュータを構築するための重要な材料と見なされ、物理、化学、実用の面から非常に活発に研究が展開されている。その中でもとくに、最近注目を集めているのが、グラフェンナリボンと呼ばれる物質だ。

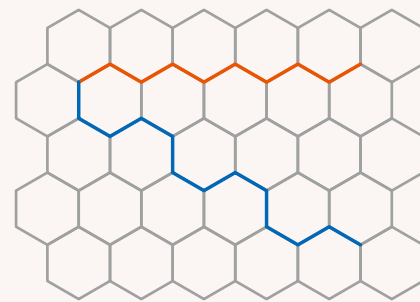


図2: ジグザグ型とアームチェア型のエッジ構造

グラフェンナリボンとは、細い線のようなリボン状のグラフェンを指す。エッジの形によって2種類に分けられ、その形から、それぞれ「ジグザグ型」「アームチェア型」と呼ばれる(図2)。なぜグラフェンナリボンが注目されているのか、それはエッジの形や大きさで、電気伝導性や磁性が大きく変わることが期待されているためだ。たとえば、エッジがジグザグ型の場合には金属的性質が現れ、アームチェア型では、その幅が広がるに従って、金属的性質と半導体的性質が交互に現れると考えられている。薄くて軽くて強靱で、かつ電気伝導性の高いグラフェンの特徴を持ちながら、形やサイズを変えることで電気伝導性や磁性を制御することができれば、現在の何倍も高速で消費電力の低い半導体やトランジスタの開発が可能となり、次世代エレクトロニクスデバイスの開発が一層加速すると期待されている。しかし、実用化に向けては大きな問題が存在する。実は、エッジの違いによるグラフェンナリボンの物性の違いは、未だに検証されていないのだ。それは、ジグザグ型エッジを有するグラフェンナリボン合成が非常に難しいためだ。もし、ジグザグ型エッジを有するグラフェンナリボンの合成に成功すれば、グラフェンの応用や物性の理解に向けて、大きな一歩となる。そこでわれわれは、様々な分野の研究者が所属するAIMRの強みを活かし、有機合成や理論の専門家とともに、ジグザグ型エッジを持つグラフェンナリボンの合成に取り組んだ。

ボトムアップでジグザグ型の合成に成功!

グラフェンのエッジの制御方法には、2種類ある。1つは、半導体リソグラフィ技術を活用したトップダウン型のアプローチ。もう1つは、分子から出発して化学反応で分子をつなげていくボトムアップ型のアプローチである。半導体リソグラフィ技術を応用した方法は、これまでも試みられてきたが、作製の際にどうしても欠陥ができてしまう。そこで我々は、後者のボトムアップ型のアプローチを活用したエッジの制御を目指し実験を行った。まずは、グラフェンナリボンのもととなる二臭化ビアントラセン化合物という分子を、銅基板上に蒸着させた。そして、500度で10分程度基板を保つ。その後、原子1つ1つが識別可能な走査型トンネル顕微鏡を活用して生成する分子を観察すると、ジグザグ型のエッジを有するグラフェンナリボンが生成することがわかった(図3)。わずかこれだけの非常にシンプルな方法で、なぜジグザグ型が生成可能なのだろうか。詳しく調べたところ、銅の表面上で二臭化ビアントラセン化合物分子が決まった方向に並ぶことにより、特異的な化学反応が起きたため、ジグザグ型エッジ構造を有するグラフェンナリボンが生成することが分かった。つまり、ジグザグ型エッジのボトムアップ型生成には、基板が重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

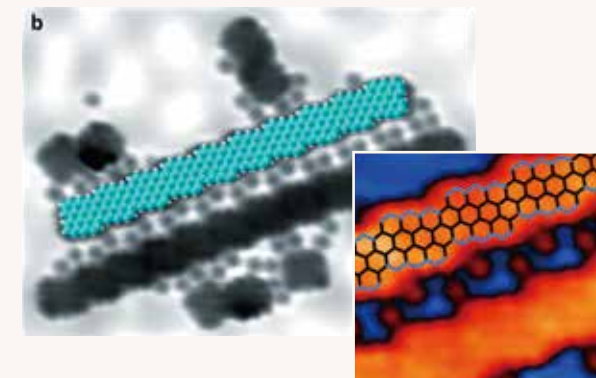


図3: グラフェンナリボンの走査型トンネル顕微鏡像(左)とジグザグ型エッジ部分の拡大図(右)

今回われわれが提案した方法により、長さやエッジの形を制御しながらグラフェンナリボンの生成を行うことが可能となった。先にも述べた通り、グラフェンナリボンは高い電気伝導性と熱伝導性といった特性から、集積回路の配線材料としての応用が考えられる。また、エッジのみに現れる強磁性状態を活用した新規デバイスへの展開も視野に入る。このように、今回の研究成果は、新規エレクトロニクスデバイスやスピントロニクスデバイス創製につながることを期待される。今後、様々な長さ、幅、エッジ形状を有するグラフェンナリボンの合成を行い、新規物性開拓と実用研究に取り組む予定である。

台湾国立交通大学と
ジョイントワークショップを開催

AIMRは、2014年9月22日から23日にかけて、台湾国立交通大学(NCTU)と合同でワークショップを開催した。台湾の新竹市にある国立交通大学で行われた本ワークショップは、AIMR主任研究者の寒川誠二教授とNCTUのYiming Li教授が10年に渡って行ってきた共同研究をベースに、ナノ材料、ナノデバイスと数学との融合研究を両大学の間で広く推進するために企画された。AIMRとNCTUより各分野の一線で活躍する研究者が講演者として招かれ、AIMRからは小谷機構長、寒川教授をはじめ12名の研究者が発表を行い、それぞれの最新の研究成果や、数学との融合研究について活発な議論が行われた。



基調講演を行うSimon M. Sze博士

ERATO磯部プロジェクト実験施設
グッドデザイン賞受賞

磯部寛之AIMR主任研究者が研究統括を務める、JST ERATO磯部縮退π集積プロジェクトの実験施設が、2014年度グッドデザイン賞を受賞した。受賞対象は、片平キャンパスにあるAIMR本館内の5階実験室と3階居室となる。化学分野の修士号を持つ建築家が、自らの研究経験をもとに理想的な環境を備えた実験施設を設計したもので、異分野研究者が参画する「分野融合」を念頭に、機能性を損なうことなく「美しさ」を追求したプロジェクトに相応しい設計となっている。



photo: Takumi Ota

被引用数

5,000回の論文が

生まれるまで



Professor

Tomasz Dietl

過去東北大から発表された論文の中で、最多の被引用数を誇る論文の筆頭著者であるトマス・ディーテルAIMR主任研究者に、専門である磁性半導体を研究するに至った経緯やAIMRの研究環境に対する印象について話を聞いた。

研究者は、自らの研究の成果を論文という形にまとめて発表する。それぞれの論文が貴重な発見の報告であり、どれが重要か比較するのはむずかしいが、一つの指標として、その論文が他の論文にどれだけ引用されたかという被引用数があげられる。その後の研究に大きな影響を与えていれば、必然的に多くの論文から引用されるためだ。東北大からは、これまで10万を超える論文が発表されてきた。その中で、被引用数が最も多い論文をご存知だろうか。その論文は、磁性半導体に関して論じており、2000年に米科学誌Scienceに発表された後、13年あまりで5,000回以上も引用されている。2013年にトムソン・ロイターより発表されたデータによると、2002年から2012年の11年間に東北大より発表された論文の1報あたりの平均被引用数は11.70回だ。この値からも5,000回という数字がいかに大きいか分かる。

論文の筆頭著者は、理論物理学者で、現在AIMRの主任研究者を務めるトマス・ディーテル教授である。共同研究者として、大野英男教授や、当時大野研究室のポスドクであった松倉文礼教授らが名を連ねる。論文を発表した当時、ディーテル教授は大野教授に誘われ、所属先であるポーランド科学アカデミーから、1年間の期限付きで東北大に籍を移し、電気通信研究所に滞在していた。大野教授との出会いを以下のように振り返る。

「大野教授とは、1994年にオーストリアで開かれた学会で初めてお会いしました。その後、大野教授が磁性物質に関する日本・ポーランド共催の学会のためワルシャワを訪れた際、彼が東北大学で成し遂げた発見について多くの議論を交わしました。やがて彼から、1年間の期間限定で東北大学に来ないかと誘われました」

大野教授からの誘いを受けたとき、ディーテル教授は主所属であるポーランド科学アカデミーにおいて、自らの研究だけでなく、プロジェクトの統括業務や事務業務など多くの仕事を抱えていた。そのため、1年間も日本へ行くのは容易ではなかった。しかし、なんとか休暇という形で都合をつけ、1999年に来日する。その決断は間違いでなく、非常に実りの多い1年だったと言う。「私たちは、異なる専門知識や経験を融合させて研究を行いました。大野教授は優れた物理学者であると同時に優秀な技術者でもあり、エレクトロニクス業界のニーズやデバイス物理学に深い造詣を持っています。こうした点を大野教授から学びましたし、彼も、私たちが長年研究してきた磁性物質の物理特性を、私から学んだのではないのでしょうか。その意味で、お互いの知識を補って協力して論文を作成できました」

このとき完成させた論文が、東北大で最も被引用数の多い論文となる。理論物理学者として大きな成果をあげ続けているディーテル教授だが、物理学者を目指すようになったきっかけは12歳の時だったという。

中道康文=文・写真

研究と独創性

「私は子どもの頃、いつも計算していたので、両親は数学者になると思っていたそうです」。しかし12歳の時、学校で物理学に出会い、初めて手にした物理の教科書を2晩で読み終えるほどのめり込んだ。「この時、将来は物理学者になると決めたのです」。早々に物理学者になることを決心したが、物理の体系的な勉強はあまりせず、それよりも一般向けの科学の本を沢山読んだという。「本ばかり読んで勉強をあまりしなかったのが、高校ではあまりよい成績をとれませんでしたけどね(笑)。ただ、幅広い分野の本を数多く読むことで、独創性を養うことができた。その独創性は、いまでも大きく研究に役立っています」。そうやって、次のような高校時代のエピソードを紹介してくれた。「私の高校のクラスでは、多くが研究者や科学者になりたいと思っていました。実際に、私と同じように大学で研究者となった同級生が12人もいますので、恵まれたクラスにいたのだと思います。そんなクラスのひとりが、在学中に国際物理オリンピックに出場し金賞を受賞しました。彼はまさに物理で一番になったのです。ただ興味深いことに、そんな優秀な成績を挙げたにもかかわらず、彼は博士号を取得しませんでした。同級生の多くはみな教授になったのに、彼は結局ソフトウェア業界で働き始めました。彼はソフトウェアなど、明確に定義された問題を解くのが得意でした。オリンピックのように特定の問題を解く作業は、非常に効率的にこなせたのです。ただ、自分自身で研究を進めて行くだけの独創性に恵まれなかったのかもしれない。その彼も、今はソフトウェア企業を営み成功を取って、私より高給取りですけどね、と笑って説明してくれた。

複雑な事象を、理論で美しく表現する

大学進学当初は物理と天文学に興味があったというディーテル教授。しかし次第に、材料科学に興味を持ち始めた。「材料の特性というのは非常に複雑で、一見すると単純な説明はできないように感じてしまいます。しかし理論研究では、電場や磁場などが複雑に絡み合ったその現象を美しく表現できます。そして、定量的に何が起こるのか予測できるのです」。理論物理学では、複雑な事象を、単純に美しく表現できる。そこに魅力を感じた。しかし、理論物理学と一言でいってもカバーしている範囲は非常に広く、例えば高エネルギー物理学に進むことも選択肢となる。「高エネルギー物理学の研究は、規模が大きく数千人のグループで研究を行っていることも多く、自分自身はそのごく一部を担うこととなります。もちろんそれも意義のあることですが、材料科学では、自分自身の研究室を持って、ひとつの問題に自分自身で取り組みます。その問題のマスターとなり、その問題

を解く理論を構築できます。大きなストーリーの一部になるのではなく、ストーリー全体を自分で描くことができる材料科学にひかれました」。こうして材料科学の研究者となったディーテル教授は、スピントロニクスという分野で、特に磁性半導体に関して、先述の論文を含めて数々の成果をあげてきた。自身の研究への動機について以下のように説明する。「スピントロニクスは、電子の電荷の性質だけでなく、スピンの性質をエレクトロニクスに応用することを目指しています。スピントロニクスの技術が実用化されれば、高速で消費電力が極めて低いデバイスを構築できると考えられています。そのため、社会の役に立つものを作りたいという気持ちが研究の大きな動機となっています」。しかし、研究への動機はそれだけではないと強調する。「この研究の基盤となる物理学は非常に面白く、数多くの興味深い現象を発見できます。これらの現象を説明する理論は、実は簡単な仮定に基づいています。限られた数の変数と、限られた数の理論、それに簡単に自然な仮定をもとに極めて複雑な現象を理解できるのは、物理学者にとって素晴らしいことです」



発見を受け入れる用意

2000年に東北大での滞在期間を終えてポーランドに戻った後も、大野教授が率いる数多くのプロジェクトに参加し、何度も来日するなど協力関係は続いた。そして、2012年には大野教授とともにAIMR主任研究者となる。現在でも、毎年最低1カ月はAIMRに滞在して研究を行っている。「AIMRの一員になれて非常に誇らしく名誉に思っています」というディーテル教授は、これまでの共同研究を通じて、特に日本の若手研究者の意欲的な姿勢に非常に感動したという。「彼らは勤勉で効率的で仕事が早く、今日言ったことを次の日に、下手をすればその日のうちにやってくれます。議論の後には必ず測定や計算を行い、来週になるだろうと思っていた数値を、その日の夜か翌日には知ることができます。彼らは意欲的でスピーディーかつ効率的に働きます。この点は本当に素晴らしいです。彼らと一緒に、優れた論文を数多く作成しました。他の国

と比べて、若手研究者の効率性は間違いなく日本の大きな強みです」

さらにAIMRの魅力についても以下のように語る。「AIMRという、この世界一流の研究施設には、2つ重要な側面があります。ひとつは、最先端の科学を提示し、新たな科学の創造さえも実現している点です。特定領域に優れるだけでなく、最先端を走り全く新たな科学の研究に取り組んでいます。数学—材料科学の連携という学際的な新たな領域は、後にWPI研究拠点で開始された研究分野として世に知られることになるでしょう」。そしてもう1つは、日本の研究制度を変革している点だと指摘する。「AIMRでは、私自身もそうですが、外国人研究者が研究体制の大きな割合を占めており、彼らが日本人研究者を巻き込みながら水平的な横の交流を持つことで、垂直的な階層構造をとる従来の日本型制度にはないものを生み出しています」。しかも、それは偶然起こったのではなく、計画的に実現されたものだとして強調する。「金曜日のTea Timeや定期的なパーティーを開くなど、研究者の交流が研究成果につながることを期待して制度が考案されたのです。AIMRの研究体制は、日本の伝統的な縦型の関係を廃し、横の広がりを作ったことで実りある成果を生むでしょう」

AIMRは、材料科学に関係する様々な分野の世界トップレベル研究者が集い、分野の壁を超えた横のつながりを作ることで、材料科学の分野でブレークスルーを起こすことを目指している。AIMRが行っている取り組みは、ブレークスルーを起こす条件を満たしているか、最後に質問した。「必要な条件を定義するのは難しいものです。なぜならそれは、しばしば思いがけない形で訪れるからです。しかし社会を変えるような大きな発見は、その発見を受け入れる用意ができた場所にしか訪れません。AIMRは、発見を受け入れる準備ができていると私は感じています」



トマス・ディーテル Tomasz DZIEL
1950年、ポーランド生まれ。ポーランド科学アカデミーで博士号を取得。同アカデミー Research Associate、ミュンヘン工科大学研究員などを経て、1990年、ポーランド科学アカデミー教授に就任。2012年よりAIMR主任研究者を兼ねる。

EVENT REPORT

第6回AIMR-SSH 国際交流プログラム開催

11月15日(土)、仙台第三高等学校において、6回目となるSSH指定校との国際交流プログラムを開催した。留学生16名、高校生45名が参加して行われた。今回は、司会進行も高校生の代表者が英語で行い、まずは留学生への歓迎の挨拶とプログラムの概要が説明された。その後、留学生ごとに16のグループに分かれての交流がはじまり、それぞれの出身国の話や、日本に来た理由、現在東北大で行っている研究など、さまざまな話題で盛り上がっていた。交流を終えた留学生からは「高校生にとって慣れている場所だったせいか、大学で行うよりも、より会話を楽しむことができた」という感想とともに、「自国にくらべて高校の施設のすばらしさに感動した」という声も聞かれた。



第4回WPI合同シンポジウムに出展

12月13日(土)、東京・有楽町朝日ホールにおいて、第4回世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)合同シンポジウムが開催された。このシンポジウムは、WPI9拠点が主に高校生を対象に、最先端の科学とその魅力を伝えるために2011年から毎年合同で開催しているもので、今回は、東京大学 Kavli IPMUの主催で行われ、機構長の村山斉教授をはじめ、京都大学、九州大学の研究者が講演を行ったほか、WPI9拠点を代表する若手研究者があつまり、来場者に直接研究のおもしろさを伝えた。AIMRからは、広報チームがブースにて機構紹介を行ったほか、Daniel Packwood助教が、確率論を用いた研究についてポスタープレゼンを行った。



ちょっと寄り道

MATERIALS

このコーナーでは、AIMRの研究分野である「材料科学」について、基礎的な事柄、歴史、世界の研究動向、AIMRにおける先端研究、等々をエッセイ風に紹介していきます。

* 第6話 * セメントのお話

AIMRでは必ずしも研究対象としていませんが、筆者がかつて研究に従事したことのあるセメントについて書いてみます。セメントにはいろいろな種類があるのですが、読者の皆さんが想像するのは、あの、ねずみ色の粉、ではないでしょうか。モルタルやコンクリートを作るためのセメント。あのねずみ色のセメントは約200年前にジョセフ・アズプジンが発明したもので、「ポルトランドセメント」という種類に分類されます。イギリスのポルトランド島に産する石灰岩(ポルトランド石)の色に似ていたため、そのように名付けられたと伝えられています。ポルトランドセメント以外に何かあるかと言うと、歯科用セメント、耐火物等に用いられるアルミナセメントなどがあります。ポルトランドセメントの一種ではありませんが、白色セメント(顔料を加えてカラーセメントが作れる)もあります。

ポルトランドセメントについてももう少し詳しく見ていきましょう。原料は主に、石灰石(CaCO_3)、粘土(主成分は SiO_2 と Al_2O_3)ですが、不足分の SiO_2 を補うための珪石(けいせき)や Fe_2O_3 を補うための酸化鉄原料も使われます。これらを砕き、粉にしてよく混ぜ、徐々に加熱していきます。セメント工場を見学したことのある方は、原料の予備加熱のための背の高いやぐら(サスペンション・プレヒーター)と、それに連結している本焼成用のロータリーキルン(巨大なものでは直径6メートル、長さ100メートルにもなる筒状の回転炉)を記憶されていることでしょうか。熱は主にキルン下流からプレヒーター方向にバーナーで供給されます。プレヒーター内で約900°Cに達した原料の石灰石は脱炭酸($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$)して CaO となり、キルン内で SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 などの成分と反応して、1200°Cくらいから部分的な溶融が始まり、最高約1450°Cの高温下で新しい化合物の結晶が次々に生成し成長していきます。キルン下流の出口では、直径数センチメートルの岩石状の塊(クリンカー)が流れ出し、これを冷却した後に、石膏と混ぜて粉にするとポルトランドセメントの出来上がりです。セメントクリンカーの切断面を研磨して顕微鏡で観察すると、主に4種類の化合物で構成されていることがわかります。これら4

つのセメント化合物は、エーライト(ドイツ語ではアリット)、ビーライト(ベリット)、アルミネート相、フェライト相と呼ばれます。セメント化学における独特の表記法ですが、 CaO をC、 SiO_2 をS、 Al_2O_3 をA、 Fe_2O_3 をFと表し、4つの化合物を C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF と書くこともあります。セメントの性質はこれら化合物の量比で決まりますが、この量比は上記原料の混合比を変えることで制御できます。普通ポルトランドセメントではエーライトが最も多く、ビーライトは少なめです。エーライトは水和・硬化反応が速い分、発熱(水和熱)も大きく、ダムなどの大型構造物では熱が蓄積されてひび割れの原因となるため、大型構造物を打設する場合は、発熱が穏やかなビーライトの割合が多い中庸熱セメント、低熱セメントが使われます。身近な材料ですが、科学的な奥の深さがあります。

最後に、私がセメント会社に入社した時、最初に習った基礎事項の一つ。皆さんはセメント、モルタル、コンクリートの違いをご存じですか?セメント、砂、水を混ぜて練ったものがモルタル、更にそれに砂利(じゃり)を加えたものがコンクリート。コンクリートとモルタルの違いは、砂利を含むかどうかです。ちなみに、セメントと水だけで練ったものはセメントペーストと呼ばれます。シンプルな定義ですが、私もセメント会社に入るまで知りませんでした。



池田 進 Susumu Ikeda

1967年埼玉県生まれ。90年東北大学理学部卒業。セメント会社勤務後、東京大学大学院理学系研究科で学位取得。同大学院新領域創成科学研究科助教を経て、2008年よりAIMR助教。10年より准教授。11年より副事務部門長を併任。AIMR事務部門において、分野融合、数学・材料科学連携の支援を行うほか、共通機器の整備等を担当。



井上 和俊

Kazutoshi Inoue

2014年6月から、透過型電子顕微鏡を使った材料研究で世界をリードする幾原研究室の一員となった。もともと専門は材料科学ではなく、紆余曲折を経てここに至った。

10代の頃、たまたまテレビで見た「銀河宇宙オデッセイ」や「アインシュタイン・ロマン」といった番組に興味し、学部では物理学を専攻した。しかし、実験結果を説明する理論だけが採用されることに窮屈さを感じ、大学院では数学を専攻する。「数学を学びはじめた頃は、物理との流儀の違いに困惑しながらも、その自由さに喜びを感じていました」

数学の自由さを謳歌する一方で、次第に現実世界で役に立つためにはどうしたらよいか悩むようになる。「一度大学院を中退して、翻訳などの勉強もしました」。そんなとき、小谷教授から学位取得を薦められ、小谷研で産学官連携研究員として働きながら博士論文を完成させる。そこで幾原教授のグループとディスカッションするようになり、「原子をこれほどまではっきりと撮像できることに驚き、材料科学に魅かれていきました」

現在は、数学の知識を活かして、物質中に存在する粒界などの欠陥構造の幾何学的な解明に挑んでいる。「数学を学んでよかったことは、偏見のない視点で、ものごとを一から再構成する努力を惜しまない姿勢に触れることができたことです。材料科学と数学の両方の文献を読み込める強みを生かし、新しい理論に発展させることが私の役割だと思っています」

井上 和俊

AIMRポストドク研究員

山形県鶴岡市生まれ。東北大学理学部物理系卒業。産学官連携研究員などを経て、東北大学大学院理学研究科で博士号を取得。2014年より現職。

中道康文=文・写真