

M AIMR Magazine

Advanced Institute
for Materials
Research

06
January 2015

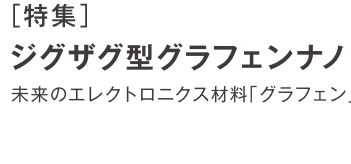
*Shigemi
Mizukami*

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



仙台から世界へ。

「巻頭インタビュー」



*Ken
Nakajima*

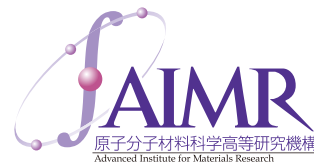
中嶋 健
東北大学原子分子材料科学
高等研究機構(AIMR) 准教授



from SENDAI to ^{the} WORLD

M AIMR Advanced Institute
for Materials
Research
Magazine
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



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。

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」。そういって、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ませんが。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以後も、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 Dybala
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

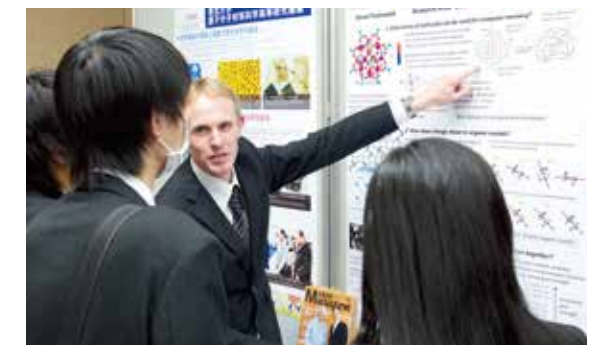
第6回AIMR-SSH 国際交流プログラム開催

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

M A T E R I A L S

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があるかと言うと、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。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系研究科で博士号を取得。2014年より現職。

中道康文=文・写真