

M AIMR Advanced Institute Magazine for Materials Research 01 March 2013



[特集]

強磁性半導体が拓く 「スピントロニクス」の可能性

東北大学原子分子材料科学高等研究機構
松倉文礼・大野英男

[巻頭対談インタビュー]

「数学と材料科学のコラボレーション」世界に先駆けた試みがめざすもの

西浦廉政 × 森 重文

東北大学 教授 / 原子分子材料科学高等研究機構 主任研究者

京都大学 教授 / 数理解析研究所 所長

M AIMR Advanced Institute
Magazine for Materials
Research
AIMRマガジン 2013年3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/>



森重文 × 西浦廉政



世界に先駆けた試みがめざすもの 「数学と材料科学のコラボレーション」

“Collaboration between Mathematics and Materials Science”

「材料科学」に「数学」の視点を取り込み、ブレイクスルーを引き起こす。AIMRは、世界でも前例のない取り組みに挑戦している。ミクロレベルの実験から、マクロレベルの材料を引き出す研究プロセスに、数学を加える意味は何か。極めてユニークな融合研究に期待される効果を、数学者の視点から語っていただいた。

竹林篤実=取材/中道康文=写真



解けない問題を考え続けるのが数学者

西浦: AIMRは、数学の可能性に賭けて、材料科学とのコラボレーションに踏み切りました。ただ、ひと口に数学の可能性といっても、さまざまな方向性が考えられる上、そもそも数学の研究者は、研究成果を何かに役立てようなどとは考えていないでしょう。森さんは数学について、どのようにお考えですか。

森: 数学が他の科学と異なるのは、制約が基本的に一切ないことでしょう。例えばさまざまな装置が必要な実験では、研究範囲が予算で決まってしまう。ところが数学で「お金がないから研究できません」ということは、ほとんどないはずですよ。

西浦: 各自が興味を抱いたテーマについて、イメージーションの限りを尽くして考えぬく。確かにこれが数学の本質ですね。

森: 考えぬくことが数学の本質だから、すぐに解ける問題などおもしろくも何ともない。20世紀を代表する数学者アンドレ・ヴェイユはかつて「アイデアなしで長時間研究に没頭できる人にだけ、数学的アイデアが浮かぶのだ」と語りました。解けない問題を、なぜ解けないのかと考え続けてこそ数学なのだと思います。

西浦: 大学で最初数学を学び始めた時、直感ではわかりにくい「病的な例」に魅力を感じたのも同じ理由です。連続ではあるが至るところ微分ができない関数とか、平面を埋め尽くすペアノ曲線のような話が、最初はよくわからなかった。けれども、どこか魔力のような引き込む力がありましたね。再帰性とか無限の不可思議さみたいなものに通じるからでしょう。

森: 連続性などは簡単には理解できないテーマだから、高校数学では避けて通るし、大学でも積極的に取り上げませんね。

西浦: けれども、難解なテーマを諦めずに追究していくと、ロジックで思考を組み立てるおもしろさがわかってきます。数学で多いのは「What is ~?」型の問いです。アラン・チューリングはWhat is thinking? を追究することでチューリングマシンに行き着いた。

森: 解けない時に、なぜ解けないかを考えだすと、どうしてもWhat is ~? を突き詰めることになる。これが数学として本当におもしろいところであり、思考が深まる所以です。代数方程式でも二次なら簡単に解けるのに、次数を上げていくと解けなくなる。だからガロアの理論が生まれたのでしょうか。

融合研究を進めるためのインターフェイス

西浦: 何かわからないことがあれば、What is ~? と問いを立てて、論理的にどこまでも掘り下げていく。これが数学者の役割の一つだと思います。考えている過程はドロドロしているけれど、最終段階では明快なフレームワークで証明する。材料科学の研究成果を、こうした数学的フレームワークに乗せることで、新たな視点からの議論が生まれると期待しているのですが。

森: 実験結果に対して数理モデルを作り、数値シミュレーションから実際の応用へと入っていくのは比較的わかりやすい流れです。けれども、リーマン幾何やフーリエ変換など純粋数学の成果が、想像もできなかったやり方で、最先端の科学で活用される例もある。その研究過程で数学者は応用法などまったく意識していない。けれども、深いところまで考え抜かれているので応用が効くのだと思います。西浦さんが取り組まれているのは、両者の中間領域ですね。

西浦: おっしゃるとおりで物理的あるいは化学的現象に対して、どういう枠組みが当てはまるのかを見抜くプロセスに、数学の力を活かしたいのです。

森: 材料科学の横断として数学を活用する。その理念はよく理解できるものの、実際に進めるのは決して簡単なことではないでしょう。

西浦: そこが悩みの種で、数学者と物理学者あるいは化学者の間では、最初はまともに話さえて通じません。依って立つ基本的な文化、バックボーンがまったく異なっていますから。

森: 同じ理系といっても、数学は少し特殊ですね。
西浦: 実験組とすれば、数学者がいきなり抽象的な概念を語り始める「ちょっと待ってくれ!」となるようです(笑)。

森: そのギャップをいかにうまく埋めていくかが、AIMR成功の鍵だと理解しています。

西浦: そのために数学と、物理なり化学をくっつけるための人材を配置しました。彼らにはインターフェイス的な人材として「糊」の役目を担ってもらう。材料に関わったことがあり、物理や化学などのバックボーンを持ち、主に理論畑でやってきた研究者です。

森: そうしたつなぎ役を務める人材の出自は、数学系、実験系のどちらが望ましいのでしょうか。

西浦: どちらでもそれほど変わりはないと考えていますが、どちらかと言えば純粋数学で抽象的な思考にどっぷり浸かってきた人を、材料系の研究室に放り込む方が、おもしろいことが起きそうです。彼らには、最初は何もしなくていいから、とにかく研究室にいて話を聞いておくようにとだけ言っておきます。むしろ、その人の意識があらぬ方向に行ったりにならないように、場の設定が必要ですが。

森: そのうちに何らかの融合反応が起こるわけですか。
西浦: 実に興味深い反応が起こります。部屋の隅っこで研究をじっと見ていた人が、半年から一年ぐらい経ってボソッとつぶやく。それが、実験に集中している人間には思いもよらぬ気づきになる。

森: 西浦さんは、CRESTの「数学と諸分野の協働によるブレイクスルーの探索」でも同じような取り組みをされていますね。

西浦: その経験を踏まえるなら、最初は遊ばせておくのがコツかもしれません。「ただ話を聞いておけばいい」と言われても、やはり

01 巻頭対談インタビュー

森 重文×西浦 廉政
世界に先駆けた試みがめざすもの
「数学と材料科学のコラボレーション」

04 News&Information

05 特集

強磁性半導体が拓く
「スピントロニクス」の可能性
松倉文礼・大野英男

08 Event Report

- 2012 サマースクール
- 国際交流プログラム
- WPI合同シンポジウム
「世界トップレベルの研究を愉しむ」

09 AIMR in the world

英国ケンブリッジ大学と海外サテライト
研究機関としての覚書締結

12 Research Highlights

13 材料科学コラム
「ちょっと寄り道 MATERIALS」

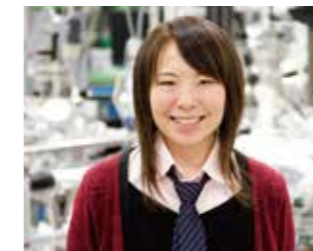
14 New Staff
キャサリン・オーチャード



NEWS & INFORMATION

高山あかりさん 育志賞受賞

高山あかりさん(AIMR 高橋研究室所属、理学研究科博士後期課程3年)が独立行政法人日本学術振興会の「第3回(平成24年度)日本学術振興会 育志賞」を受賞しました。「日本学術振興会 育志賞」は、社会的に厳しい経済環境の中で、勉学や研究に励んでいる若手研究者を支援・奨励するため、天皇陛下より同振興会に贈られた御下賜金を基に、将来、我が国の学術研究の発展に寄与することが期待される優秀な大学院博士後期課程学生を顕彰するものです。授賞式は平成25年3月4日に日本学士院(東京・上野)で執り行われました。



The AIMR International Symposium 2013 開催

AIMRでは、毎年2月に材料科学に関する国際シンポジウムを開催しています。今年も2013年2月19日~21日の期間、仙台国際センターにおいて、「材料科学と数学との融合研究を通じたグリーンマテリアル創成への挑戦」と題し、ノーベル賞受賞者の根岸英一(パデュー大学特別教授)など著名な研究者を世界各国から招待し開催されました。今回は特に、トポロジック材料やスピントロニクス材料に注目したセッションが多く開かれました。



詳しい講演内容などは下記のwebサイトを参照
<http://sympo.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/symposium2013/>

大野教授
米国物理学会(APS)フェローに選出

大野英男主任研究者(電気通信研究所教授および省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターのセンター長)が、米国物理学会(American Physical Society:APS)のフェローに選出されました。これは物理学およびその応用における学術的貢献、リーダーシップが顕著であると認められたもので、特に「磁性元素を導入したIII-V族半導体の強磁性の観察およびそれらのスピントロニクスへの応用に関する研究」が評価されての受賞です。

仲間に加わりたいし、自分なりに理解したいと思うわけです。
森:参加意欲が、数学者の頭を動かす始めるわけですか。実験を見て数学者なりに考えた結果が、突拍子もない融合反応につながる。とはいえ若手を一年も遊ばせておくには、上の理解が欠かせないと思います。
西浦:だから機構長として数学者(=小谷元子)を迎えたのです。新体制がスタートして1年半ほどですが、実験サイド、理論サイドの双方から一緒に考える動きが表面化し始めています。
森:実験者の傍らに数学者がいて、実験を見ているうちに数学者の頭が動き出すメカニズムは、なんとなくわかる気がします。実験は抽象論ではなく、具体的に目に見えるものだけに刺激されやすいのでしょうか。

10年、15年後に発酵の成果を

西浦:いま注意しているのは、短期的な成果を求めないことです。ただ効率だけを追求するのなら数学者を入れる意味はないし、AIMR以外でもできる。これだけ専門化が進み細分化が徹底している中で、数学が一体どう役に立つのかを考えたいのです。
森:そもそも簡単に成果が出るようなレベルではなく?
西浦:単に共同論文を書きました、程度のアウトプットを求めている。AIMRで何年かを過ごすことで意識を変えて欲しい。ここで経験を積んだ若い人が、10年、15年先にAIMRに来てよかったと実感し、自分の経験を広げていってくれる。そんなことを夢見ています。

森:とても夢のある話ですね。ところで異なる分野の研究者が、一緒にうまくやっていくためには、お互いの信頼感が鍵だと思います。そこで気になるのが、数学者はどちらかと言えば一匹狼で、自分の頭の中だけで考えるタイプの多いこと。廊下ですれ違っても、普通にあいさつするほうがおかしいと思われるじゃないですか(笑)。
西浦:コミュニケーション能力の高い人のほうが議論しやすいのは事実ですが、無口でじっとしている人が、ある日突然しゃべり出すときに、ブレイクスルーが起こったりもする。要は、そこまで待てるかどうかでしょう。

森:時間的余裕を重視するのは数学研究でも基本的条件ですね。数理解析研究所でも、何より大切にしているのが時間です。毎年海外から400人を超える研究者がやってくるのも、時間を確保することと、優秀な研究者に会えるからだと思っています。
西浦:AIMRでは研究者たちの接点を増やす仕掛けを作りました。研究所の5階にフリーラウンジを設け、毎週金曜日には気軽に談笑するティータイムを作っています。

森:スペースにゆとりのない数理研からすれば、うらやましい限りです。研究者同士がカジュアルな雰囲気でお話できる場の必要性はよくわかります。うちで実現するのは、至難の業ですが(笑)。
西浦:お金を正しく無駄遣いできるかどうか、重要な視点だと

思っています。今はあまりにも無駄をそぎ落とすことに偏りすぎている。数学研究などは本来、時間に区切りをつけるべきではないのかもしれない。
森:締切を作らないのも問題だけど、時間に縛られてしまうと無理をする歪みが出ますね。

西浦:だからAIMRでは「正しいムダ」の実現に努力しています。我々が成功モデルを作り、全国に広げたい。研究者同士に信頼感を醸成するためには、コミュニケーション量の総和が閾値を超えることが必要です。
森:そのためには、一見他愛もないような話が重要だと。よくわかります。

新しい数学の応用法への期待

西浦:今回、森さんには無理をお願いして、国際アドバイザーボードに加わっていただきました。
森:具体的にどんなサポートができるのかは、まだよくわかりませんが(笑)。ただ、西浦さんがCRESTでやってこられた数学の応用を、どう進化させるのか。今までにない数学の活用にはチャレンジされる姿勢には共感を覚えます。

西浦:我々としては、AIMRのような活動が、数学の一つのあり様として認められることが何よりの励みになります。黙認でいいから、全国の数学者から認知されれば、若手研究者のモチベーションアップ効果は大きい。その意味では、日本における数学研究の総本山・数理解析研究所にサポートしてもらった効果は絶大です。
森:純粋数学の可能性を占う意味でも西浦さんの活動は支援していきたい。また所員には応用系の研究者もいるので、いずれ具体的な研究参加の可能性もあります。

西浦:数学には人類の宝ともいえる知恵がいくつもあります。古典的な宝ですら、十分に活用されていないのが現状でしょう。数学が他分野にもしっかり根付くこと、数学の遺伝子が材料科学の分野で表現されること。これをAIMRとしてアピールしていきたいと考えています。



西浦 廉政 Yasumasa Nishitani
1950年大阪府生まれ。京都大学理学部卒業。京都産業大学助教授、広島大学教授、北海道大学電子科学研究所教授、2003年-2005年同所長などをへて、2012年より東北大学原子分子材料科学高等研究機構教授、同主任研究者。理学博士。JST「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域の研究総括を務める。2002年日本数学会賞秋季賞、2012年文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。

森 重文 Shige-fumi Mori
1951年愛知県生まれ。京都大学理学部卒業。京都大学助手、米ハーバード大学助教授、名古屋大学教授などをへて、'90年より京都大学数理解析研究所教授。2011年より同所長を務める。理学博士。三次元代数多体の極小モデルの存在を証明して、'90年に日本人として3人目のフィールズ賞受賞。日本学士院賞、文化功労者など受賞多数。

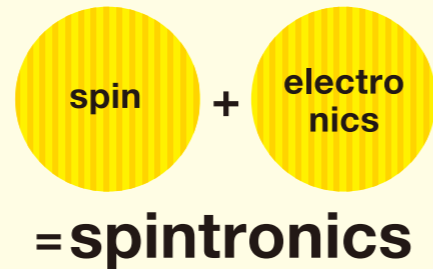
可能性。

The Potential of
Spintronics
Unlocked by
Ferromagnetic
Semiconductors

スピントロニクス の 強磁性半導体が拓く

半導体はいまやほとんどの電化製品に使われている材料であり、われわれは半導体に囲まれて生活していると言っても過言ではない。一方、磁性体は、磁石の存在が古代ギリシアで既に知られていたように、人類が長く扱ってきた材料であり、現代社会においても、ハードディスク等のエレクトロニクス材料としてなくてはならないものになっている。

これら半導体と磁性体は、少し前まではまったく別のモノとして研究されてきた。しかし近年、半導体でありながら磁性体でもある、両方の性質をあわせ持った磁性半導体が注目されるようになり、「スピントロニクス」の担い手として期待がかかっている。本特集ではスピントロニクスの概要とその中における磁性半導体の位置付けを見わたした後で、代表的な磁性半導体であるガリウムマンガンヒ素 (Ga,Mn)As とインジウムマンガンヒ素 (In,Mn)As を使った研究を紹介し、磁性半導体が拓くスピントロニクスの可能性を展望したい。



材料は電気を通すか通さないかという点で、導体、半導体、絶縁体の3つに分類される。導体の代表は金属であり、ゴムなどの電気を通さないものを絶縁体と呼ぶ。半導体は、電気抵抗の値が導体と絶縁体の中間的なものを指し、導体的な性質と絶縁体的な性質の両方を持っている。すなわち、電気を通す/通さないの制御が可能で、電気をせき止めたり流したりするスイッチとして機能させることができる。半導体がエレクトロニクスの材料として不可欠なのは、この、電流や電気信号のON/OFF(あるいはONとOFFの中間など)を制御できる性質に大きく依っている。このような、主に半導体を用いた電子工学をエレクトロニクスと呼んでいる。エレクトロニクスでは、電流の元となる「電子」の「電荷(電子はマイナスの電荷をもつ)」を使って

いる。これに対して、電子のもう一つの性質「スピン」も利用するエレクトロニクスが、スピントロニクスすなわちスピントロニクスである。

スピンは電子の回転に関係しており、物質中に存在する多数の電子のスピンが同じ方向に揃うと磁石の性質(磁性)が現れる。スピントロニクスは、この電子のスピンを利用し、従来のエレクトロニクスではできなかった高速かつ低消費電力の高性能電子デバイス、コンピュータなどを実現するものである。

スピントロニクス研究の歴史をひも解くと、そのはじまりは1967年の江崎玲於奈らによる発見にさかのぼることができる。江崎らは、磁石の性質を持つ半導体、ユウロピウム・カルコゲナイド(※1)で作られた素子の電流や電圧の特性が、その電子のスピンによってコントロールされることを示した。これは電子の持つ電荷の性質(=電気伝導)をスピン(=磁性)で制御した世界初の事例であり、スピンをういたエレクトロニクス、スピントロニクスの歴史は、ここに始まったといえるだろう。

磁性半導体

1988年にはアルバール・フェルトとペーター・グリーンバルクが、強磁性の(磁石の性質をもつ)金属と磁性を持たない金属を、ごく薄い膜にして交互に重ねていくと、外部からのわずかな磁界の影響で抵抗の大きさが劇的に変化することを見出した。いわゆる「巨大磁気抵抗(GMR)効果(※2)」の発見であり、この現象を利用したGMRヘッドはハードディスクの大容量化を可能とし、スピントロニクスの意義や可能性を科学者以外の目にも明らかなものとした。この業績によって、フェルトとグリーンバルクは2007年にノーベル物理学賞を受けている。

この動きと並行して、もう一つのスピントロニクスの流れ、すなわち磁性半導体の研究も急速に発展した。一般的に半導体は磁性を持たないが、半導体でありながら磁石の性質もあわせ持つ材料を創りだす試みである。この試みによって作られた磁石の性質を示す半導体は「強磁性半導体」と呼ばれている。

現在、磁性半導体の分野においては、既存の磁性をもたない半導体に少量の磁性元素を添加する「希薄磁性半導体(図1参照)」の研究が主流となっている。その理由は、希薄磁性半導体の場合、すでに幅広く利用されている半導体の構成原子のごく一部(数パーセント)を磁性元素で置き換えているだけであるため、既存の半導体と同様に、トランジスタや発光素子構造に組み入れやすいことにある。また希薄磁性半導体の多くは、厚さを原子レベルの精緻さでコントロールできることもメリットの一つである。種類の異なるごく薄い半導体を接合することで見られる現象は、半導体レーザーなどさまざまな技術に応用されている。

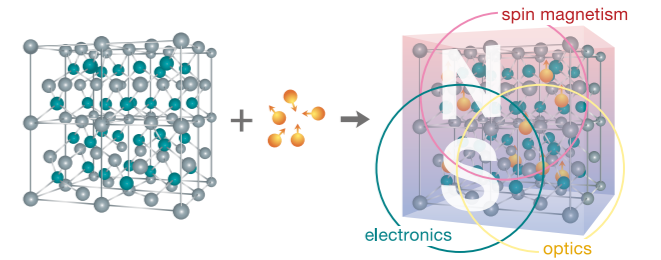


図1) 半導体を構成する元素の一部を不純物イオンで置換すると、磁性スピンとキャリアが半導体に導入されて、半導体が磁石になる。

電子の“あな”—強磁性発現のメカニズム—

1980年頃から始まった希薄磁性半導体の研究は、1990年代に入ると、ヒ化インジウム(InAs)やヒ化ガリウム(GaAs)にマンガンを加えた強磁性半導体(In,Mn)Asや(Ga,Mn)Asが注目を集めるようになった。InAsやGaAs、いわゆるIII-V族半導体は、もともと産業上重要な役割を果たしていた半導体であったが、それが強磁性、すなわち磁石にもなることが示されたためである。半導体としての電気的な性質を保ったまま磁石としての性質も発現できれば、新しいデバイスを創出できる可能性は極めて高い。

これらの強磁性をもった希薄磁性半導体が創製されて以来、強磁性発現のメカニズムが集中的に議論されている。磁性元素(マンガンのものがもつ磁性は強磁性ではなく常磁性と呼ばれるものである)を添加したとは言え、少量のマンガンの導入だけで、材料全体が強磁性体になる現象は、簡単には説明できない。我々はこのメカニズムを以下のように考えている。

2価のイオンとなるマンガンは3価のインジウムやガリウムの原子と入れ替わると、価数の違いから、正の電荷を発生させることになる。4価のイオンで置き換えれば負の電荷、すなわち電子が1個発生するのであるが、2価のマンガンを置き換えた場合は、電子ではなく「正孔」と呼ばれる正の電荷をもった「電子のあな」が発生する。さらに、マンガンは磁性をもつ元素であり、ヒ化インジウムやヒ化ガリウムに混入する際に、スピンを持ち込む。この少量のスピンだけでは強磁性をもたらすことは難しいが、このスピンと電子のあなである正孔が相互作用することで材料全体のスピンがそろい、強磁性を持つようになると考えられている。またこの磁性の強さは、正孔の濃度に依存し、正孔を増やすことで、磁性を強くすることが可能である。希薄磁性半導体の本当の面白さは、この電子のあな(正孔)によって磁性が発現するという、まったく新しい物理現象にあると言ってもよいであろう。

東北大学
原子分子材料科学高等研究機構

松倉文礼・大野英男 = 文

電界で磁性を変える

あらゆる強磁性体は、特定の温度(キュリー温度)を超えると磁石の性質を失う(常磁性になる)。これは熱によってスピンの向きが乱されてしまうためだ。すなわち、一般に強磁性体は、温度を変えることで、強磁性⇔常磁性の行き来(相転移)が起こる。これに対して強磁性半導体の場合、強磁性は正孔によってもたらされることがわかっており、温度ではなく、この正孔の量を制御できれば、強磁性⇔常磁性の相転移が起こると予想される。正孔の量を変化させるには、強磁性体半導体を使った素子(電界効果トランジスタ:FET)を作製し、それに異なる電圧を加えればよい。FETは加える負の電圧を高くすればするほど、正孔を増加させることができる。2000年に、我々はインジウムマンガニ素(In,Mn)Asを使ったFETを作製し、電圧を加えることで強磁性⇔常磁性の相転移を制御できることを実証した(図2)。この際、キュリー温度の変化はわずかに2°C程度であった。その後、ガリウムマンガニ素(Ga,Mn)Asについても、電界効果による正孔量の制御によって磁性の制御が可能であることを確認した。(Ga,Mn)Asに関しては、磁化の方向も電気的に制御できることが明らかとなった。

ハードディスクなどの磁気記録デバイスは、磁石の磁化の向きを0と1として情報を記録している。外部からの磁場や電流を使わずに磁化の方向が制御できれば、低消費電力の磁気メモリーへの応用につながると期待される。磁化方向を電気的に制御した一連の実験結果は大いに注目を集め、現在では電圧によって磁化方向のスイッチングを実験的に観測するレベルにまで研究が進められている。

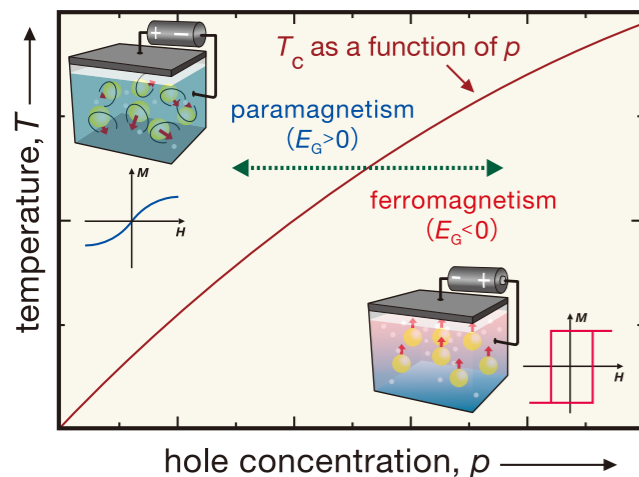


図2) 強磁性半導体のキュリー温度は正孔濃度の増加につれて上昇する。正孔濃度を電界により変えることで、温度を変えずに相転移を引き起こすことができる。

強磁性半導体を用いたスピントロニクス

現在のところ、強磁性半導体のキュリー温度は室温以下であり、強磁性半導体を室温で実現するまでには至っていない。強磁性半導体が製品として応用できるようになるには、室温での実現が不可欠であり、それにはまだしばらく時間がかかりそうだ。

とはいえ、スピンにまつわる新しい物理現象の発見や、新たなスピントロニクス素子の提案と動作実証に関して、強磁性半導体はすでに大きな貢献をしてきた。今回紹介した電圧の印加(正孔の増減)で磁石の性質が変わる現象の他にも、電流を流すと磁石の境界(磁壁)が移動する現象など、興味深い現象が次々と明らかにされている。このような強磁性半導体を対象とする研究の成果は、室温で動作する強磁性金属素子の研究・開発にも活かされ、材料の違いを超えて、多くの分野に波及効果を及ぼしている。もちろん、今回解説した強磁性半導体の室温での実現を目指した研究も続けられている。将来、室温以上で働く強磁性半導体が誕生した際には、これまで蓄積されてきた知見が、一気に極めて重要な意義を持つことになるであろう。基礎研究の観点からも、また応用の観点からも、極めて多様な可能性を秘めた強磁性半導体に対する興味は尽きることがない。

- ※1: Euカルコゲナイド
ユウロピウムのカルコゲン(酸素、硫黄、セレン、テルル)化合物
- ※2: 巨大磁気抵抗(GMR)
普通の金属の磁気抵抗効果は数%にとどまるが、強磁性薄膜と非磁性薄膜を重ねた多層膜では、数十%の磁気抵抗比を示すものがある。このような現象を巨大磁気抵抗効果と呼ぶ。



松倉文礼 *Fumihiro Matsuura*
1966年北海道生まれ。北海道大学理学部卒業。東北大学電気通信研究所助手、准教授、ポンド科学アカデミー物理学研究所客員研究員を経て、2012年より東北大学原子分子材料科学高等研究機構(AIMR)教授。博士(理学)。専門は半導体スピントロニクス。



大野英男 *Hideo Ono*
1954年東京都生まれ。東京大学工学部卒業。北海道大学講師、助教、IBMトーマス・J・ワトソン研究所客員研究員を経て、'94年に東北大学工学部教授。'95年より同電気通信研究所教授。2010年より東北大学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター長、2012年より東北大学AIMR主任研究者を務める。工学博士。日本学士院賞、トムソン・ロイター引用栄誉賞などを受賞。



谷垣教授、対称性と材料の性質のふしぎな関係を語る

「材料の性質は、その構造に大きく影響される。特にその対称性が崩れたときに大きな変化を見せる」と、谷垣教授は様々な実例を示しながら参加者約600名に向けて熱く語りかけた。WPI研究拠点が年に一度合同で開催する一般向けの講演会「世界トップレベルの研究を愉しむ」(国際ナノアーキテクトニクス研究拠点主催、2012年11月24日、茨城県つくば市)での1コマだ。各拠点から集まった6名の研究者が、材料、エネルギー、生命、宇宙などさまざまなテーマの研究を紹介したが、AIMRからは谷垣教授が「数学と幾何でデザインする材料」と題して講演を行った。

高校生を中心とした参加者を前に谷垣教授は、「電子は通常、スクランブル交差点で人が行き交うようにいろんな方向を向いているが、超伝導状態になると、対称性が崩れて、まるで軍隊の行進のように一方向に並んだ状態になる」と語った。超伝導や熱電変換といった省エネ社会にむけて多くの研究が行われている現象が、どのように対称性と関係しているのかという説明を、参加者は興味深く聴いていた。また、メインホール横に設置された展示スペースでは、サーカスポールと同じ構造をもつC60フラレンをベースにした超伝導体や、バラの花びらの構造を模した超撥水素材など、講演内容と連動した材料の展示をおこない、講演を終えてブースに表れた谷垣教授に高校生が質問するなど、多くの参加者が材料の不思議で面白い世界を体感していた。今回のWPI合同シンポジウムは2013年12月14日に仙台市で開催予定。

片平キャンパスで留学体験!

昨年10月17日、AIMRの外国人研究者7名と仙台近郊の高校生27名が参加した国際交流プログラムが、東北大学片平キャンパスのAIMR本館にて行われた。このプログラムは、バックウッドAIMR助教による「確率と分子」という講義と、小グループに分かれての研究者インタビューで構成。公用語が英語であるAIMRでの研究生活を体験してもらおうと、全体を通して英語のみ通訳なしで実行された。

高校生には少しハードルが高いとも思えるこのプログラム。参加した高校生も、「専門用語がいっぱい出てくる早口での英語の講演を心配していた」というが、バックウッド助教の丁寧で分かりやすい説明のおかげで、「分子の世界で確率が大切だと言うことにとっても驚いた。」

「研究者がどのように研究を進めていくのか、その過程がよくわかった。」といった感想が聞かれ、講演後には内容に関する質疑応答も活発に行われた。

外国人研究者とのグループインタビューは、さすがに厳しかったのか、英語でなんて言っているかわからず黙り込んでしまうシーンも見られた。「英語をもっと勉強する必要を感じた」「わからない単語も多く、もっと語彙力をつける必要を実感した」という感想を聞いた引率の西澤教諭は以下のように話す。「いざ英語で話そうとして、初めて自分の英語が通用しないことを実感したのだろう。これを乗り越えることで、今後の英語学習のモチベーションにつながるんじゃないかと思っている。」



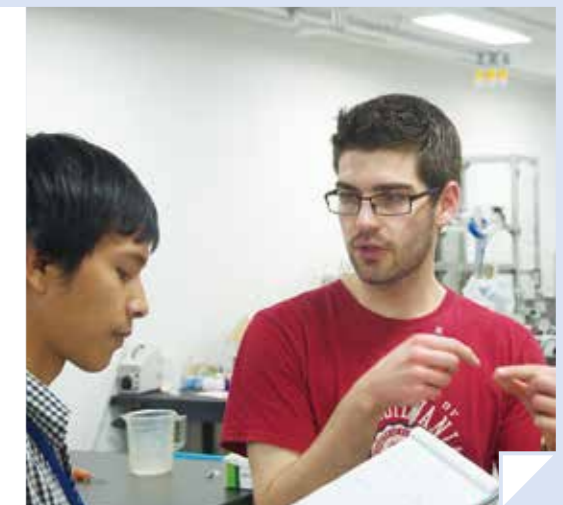
最先端材料科学を体験する1週間

AIMRでは、2012年7月23日~29日に大学院生を対象とした初のサマースクールを開催した。世界各国から約200名の応募があり、その中から選ばれた13カ国30名の大学院生が、AIMRの主任研究者による講義を受講し、希望の研究室において物理学、材料科学、デバイス工学などの最先端研究を体験する実習を行った。サマースクールを終えた参加者からは、「日本の研究室の素晴らしい研究機器や環境に感動した」「実習を通じて専門分野に対する知見を深めることができた」「同じ分野で研究者を目指す世界中の学生と交流できたことはとても刺激的だった」といった声が聞かれ、材料科学に対する知見を深めるだけでなく、AIMRの著名な材料科学研

究者や、各国の同じ分野で研究者を志す学生との交流を楽しんだ様子だった。講師として参加したAIMRの研究者も、意欲的な学生とのディスカッションを通じて刺激を受けるなど、このサマースクールは参加者すべてにとって意義あるものとなった。

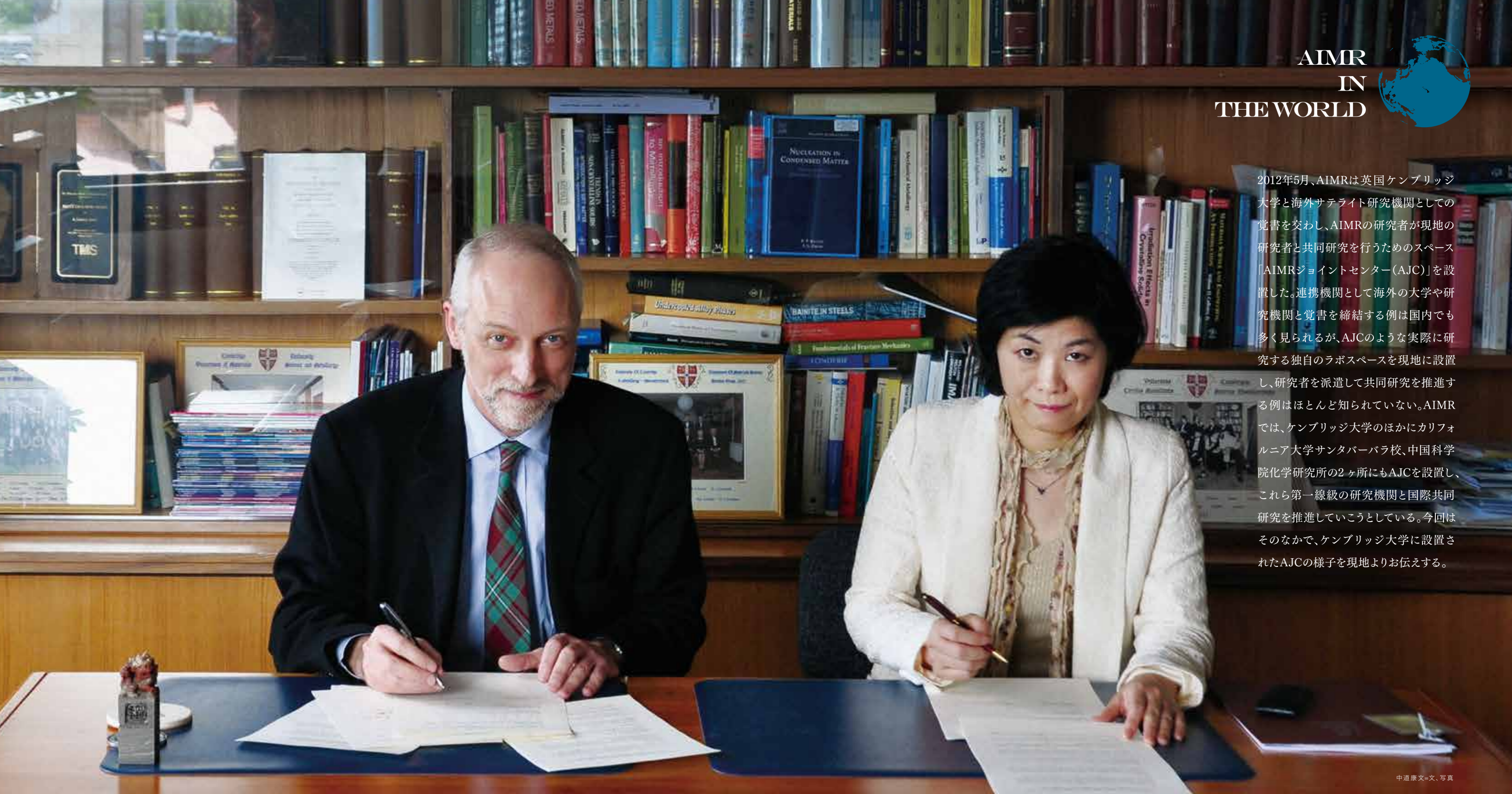


下記webサイトに詳しい報告を掲載中。
<http://research.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jpn/spotlight/701>





2012年5月、AIMRは英国ケンブリッジ大学と海外サテライト研究機関としての覚書を交わし、AIMRの研究者が現地の研究者と共同研究を行うためのスペース「AIMRジョイントセンター(AJC)」を設置した。連携機関として海外の大学や研究機関と覚書を締結する例は国内でも多く見られるが、AJCのような実際に研究する独自のラボスペースを現地に設置し、研究者を派遣して共同研究を推進する例はほとんど知られていない。AIMRでは、ケンブリッジ大学のほかにカリフォルニア大学サンタバーバラ校、中国科学院化学研究所の2ヶ所にもAJCを設置し、これら第一線級の研究機関と国際共同研究を推進していこうとしている。今回はそのなかで、ケンブリッジ大学に設置されたAJCの様子を現地よりお伝えする。



中道康文=文、写真

AIMR Joint Center at University of Cambridge



AJC研究員のオラバ博士。カメラ目線で、というリクエストに気軽に答えてくれた。

ここ英国に所在するケンブリッジ大学は、世界大学ランキングでも常にトップクラスに位置しており、著名な卒業生を多く輩出している。AIMR海外主任研究者のアラン・リンゼイ・グリア教授は、彼が所属するケンブリッジ大学金属材料冶金学科を案内してくれた時、食堂の椅子に座っていた私に、こう言って有名な卒業生の名前を覚えてくれた。「君が座っているその椅子は、ケンブリッジ大学のある卒業生が使っていた椅子のレプリカだよ。彼を知ってるかい？アイザック・ニュートンっていうんだが。」



長い歴史を誇るケンブリッジ大学は、ロンドンから電車で約1時間ほど北にあるケンブリッジ市の中心にある。実際に訪問してみると、街の規模はそんなに大きくなく、歩いて全体を回れるくらいだ。しかし、街のあらゆる、本当にあらゆるところに大学の建物があり、街全体が大学であるかのような印象を受ける。そんなケンブリッジの街のほぼ中心に、AJCが設置されている金属材料冶金学科の研究棟がある。現在ここでは、AIMRの研究員であるオラバ博士が、これまでAIMRとケンブリッジ大学との間で進めてきた共同研究を推進するため、仙台との間を行き来しながら実験を行っている。12月の曇りの日。AJCを訪問すると、オラバ博士は笑顔で迎



サテライト研究機関の覚書にサインするグリア教授(左)と小谷AIMR機構長

えてくれた。11月に仙台で会って以来、彼とは約1ヶ月ぶりの再開だ。挨拶をかわし、さっそく現在進めている研究について質問する。彼は実験装置の前に、「いまは新しい相変化材料の構造や性質を調べる研究を行ってる」と説明してくれた。

相変化材料とは、CD-RWなどの記録媒体に使われる材料で、構造が規則正しく並んだ状態(結晶相)と、不規則な配列の状態(アモルファス相)との間で可逆的に変化する合金だ。この材料に強いレーザーをあてると、結晶からアモルファスへの変化を起すためデータの記録が可能となる。逆にデータを削除するときは、弱いレーザーを当ててアモルファスから結晶へ変化させる。

「相変化材料は、コンピュータのメモリへの応用を目指した研究が多くおこなわれている。もし実現できれば、低エネルギーで大容量、高速のメモリが作成できるだろう。しかし、結晶相とアモルファス相を行き来する変化が、どういった条件でどのようなメカニズムで起こるのか、実はまだよくわかっていない。それを明らかにし、未来のメモリを開発するのが我々の目標だ」と、

熱く語ってくれたオラバ博士。仙台ではカラオケで熱唱するなど、おちゃめな面を見せてくれた彼だが、研究の話となるとこちらが止める間もないくらい熱心に話し続けてくれた。

AJC設置以前にも、AIMRでは金属ガラス研究においてルズギン教授とグリア教授を中心としたグループが活発な共同研究を進めてきた。その流れを加速するために設置されたAJCで、オラバ博士は、AIMRとケンブリッジの橋渡し役という重要なポジションを担っている。彼は最後にこう言って日本へ帰る私を見送ってくれた。「AJCの研究員としてプロジェクトに参加できるのは非常に光栄だ。AIMRとケンブリッジとの共同研究で、未来を支える新たな材料開発を行ってきたい。」

キングス・カレッジ・チャペルはケンブリッジ大学で最も有名な建物の一つだ。



Research Highlights

from AIMResearch

AIMResearchは、AIMRの特筆すべき業績を分かりやすく紹介するオンラインコンテンツです。ここでは、その中から最新の記事をダイジェストでご紹介。

続きはAIMResearch webサイトでチェックしてください。

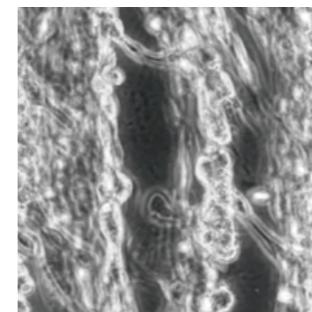
<http://research.wpi-aimr.tohoku.ac.jp>

組織工学

細胞を長生きさせる足場材料

Lab on a Chip 12, 2959 (2012)

半天然ハイドロゲルからなる足場材料は、細胞の長期培養を可能にし、高度で複雑な人工組織の形成に有用である。



©2012 J. Ramón-Azcón et al.

2

微小チップデバイス

電気化学イメージング

Angewandte Chemie International Edition 51, 6648 (2012)

胚性幹細胞の胚様体の活性をイメージングできる高密度電気化学デバイスが開発された。



©2012 K. Ino et al.

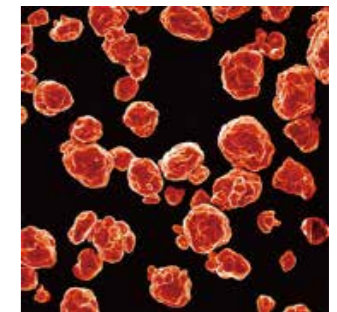
4

金属ガラス

水質汚染源の染料を脱色分解する

Scientific Reports 2, 418 (2012)

河川廃水の汚染源であるアゾ色素分子は、金属ガラス粉末で効率よく分解除去できる。



© 2012 J.-Q. Wang

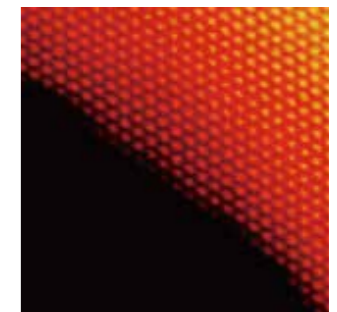
1

触媒反応

金のキンクの役割

Nature Materials 11, 775 (2012)

ナノポーラス金は一酸化炭素の酸化において高い触媒活性を示す。このほど、高分解能イメージングによって、「キンク」という表面欠陥が、この触媒活性の原因であることが明らかになった。



©2012 T. Fujita et al.

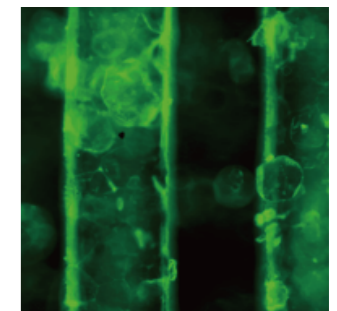
3

バイオマテリアル

骨再生の足場となるパターン

Advanced Functional Materials 22, 3799 (2012)

薬物を充填した微小ポリマー球を並べて作った微細パターンが、骨組織の修復における幹細胞の増殖と分化を促進する。



©2012 X. Shi et al.

5

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1話 *

材料科学は宝探し?

材料科学という名前は、国語、数学、理科、社会、英語、体育、美術、音楽、家庭、技術など、小、中、高校で勉強する教科にはありません。大学や高等専門学校になって初めて「材料」と名のついた学部や学科が出現します。社会に目を向ければ、たくさんの材料メーカーがわたしたちの生活を支えているわけですから、高校まで「材料科学」という言葉に一度も触れないのは何か不自然さを感じます。しかし、それはある意味において仕方なく、なぜならば、材料科学というのは、理学、工学、薬学、環境科学、情報科学など、基礎から応用までの様々な分野が密接に関わった総合的な研究分野であり、単純に一つの学問分野として表すことが難しいからです。オープンキャンパス等に来てくださった高校生から、「将来材料に関する仕事をする場合、どこの学部に入ったらよいのですか?」という質問を何度か受けたことがあります。そんなとき、明らかに材料志向が明確な場合は、材料工学科(東北大ではマテリアル・開発系)を勧めますし、例えば、生物学や地学が好きという高校生には、「まず学部で生物学や地学を学んで、将来材料の研究をすることもできる」と助言します。私自身が地学科を卒業しているからです。

人類は、生活に必要な道具として石器、土器、銅器、青銅器、鉄器^①を生み出し文明を発展させてきました。これらの道具の歴史は、石、焼き物、銅、青銅、鉄^②という材料開発の歴史でもあります。人類が既に青銅という金属材料を持ちながら、更に融点が高く精錬、鑄造の難しい鉄へと向かったのは、鉄が青銅よりもはるかに強靱であり、農耕の効率を上げ、また武器として有用であったからと考えられます。このような農耕の道具や武器に求められる「強靱さ」は材料の「機能」の一つです。常に材料には役に立つ「機能」が求められます。英語のMaterials Scienceを日本語にする時に「物質科学」と訳すこともありますが、この場合は、どちらかと言えば、物質の性質を調べることに主眼を置いており、「材料科学」と訳す場合は、材料として役に立つ「機能」を持った物質の研究であることを意識しています。しかし時として、役に立つ「機能」の探索には、必ずしもすぐには役に立

たない物質の性質を解明することから始める必要がありますので、これらを総合して、「物質・材料科学」と表現することもあります。

上述の青銅は銅と錫の合金です。材料は天然に産するものをそのまま使用する場合がありますが、多くの場合、2種以上の物質をいろいろな比率で混ぜて溶かしたり、結晶化させたり、急冷してガラス状態にしたり、手を加えて目的の材料に仕上げます。特に材料科学の面白さは、地球上で安定な約90種類の元素をいろいろな比率で混ぜ合わせる場合、その組み合わせが無数に存在すること、また、加熱温度、圧力などによっても性質が異なってきますので、未知の材料がまだまだたくさん残っていることにあるでしょう。まるで、宝探しです。この宝探しの感覚も材料科学の醍醐味です。

しかし、材料科学が、もう待たなしのエネルギー問題、環境問題に対応できる材料を供給せねばならない現代社会において、悠長にその宝探しを楽しんでいる余裕がないのも事実です。わたしたちは、これまでに積み上げてきた研究の結果、情報を集大成し、予言力のある材料科学を構築し、エネルギー問題、環境問題の解決に役立つ「機能」を持った材料を、探すのではなく、設計して作っていかねばならないでしょう。それを実践するために、諸現象の根底にある普遍原理を抽出できる数学を取り入れ、新しい材料科学の創出を目指す取り組みを、今AIMRは行っています。数学と材料科学の連携については、本誌の巻頭対談インタビューをご覧ください。

次号からは、具体的な材料科学のトピックスに焦点を当てていきます。どうぞお楽しみに。



池田 進 Susumu Ikeda

1967年埼玉生まれ。'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。

キャサリン・オーチャード

Katherine Orchard

自由な発想が生み出す可能性を信じて

「企業での技術開発はどれも大企業で、研究のペースも目標も基礎研究とは大きく違います。その中で達成した成果はとても誇りに思うけど、もっと自分が選んだ課題にじっくりと、自由な発想で取り組んでみたいくなりました。」

大手化学系企業の研究職から転職し、昨年12月よりAIMRの研究員となった彼女に、アカデミックな世界に戻ってきた理由を聞くとこんな答えが返ってきた。

彼女はいま、AIMRとケンブリッジ大学との間で進めるプロジェクトの一員として、仙台と英国を行き来する忙しい生活が始まったばかりだ。この1月から2月末までは仙台で過ごす予定の彼女だが、実はこれが初めての日本滞在。不安はないのだろうか。

「スタッフの人たちがみんなよくしてくれるし、研究所もすごくオープンな雰囲気、不安はぜんぜんありません。研究の面でも、AIMRにはいろんな分野の人たちが集まっているけど、皆で一緒に研究しようというモチベーションがとても高いので、興味を持った相手とすぐに話せて、とても刺激的な毎日を過ごさせています。」

そんな彼女、研究を離れてもとてもアクティブで、これまで5年間、地元の女子ラグビーチームでプレーしていたそう。 「時間があればハイキングに行きたい。それに旅行が好きだから、日本のいろんなところを見て回りたいと思ってます。」

キャサリン・オーチャード
AIMRポスドク研究員
ケンブリッジ大学で修士号を、インペリアル・カレッジ・ロンドンで博士号を取得後、Nanoco technologies社で研究員を勤めたのち現職。